

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ А. Г. Протасов
« ____ » _____ грудня 20__18__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
на тему: «Офтальмологічна система контролю параметрів колірного зору»**

Виконав:
студент VI курсу, групи ПК-71мп
Харук Іван Миколайович _____

Керівник:
ст. викладач, к.т.н.
Муравйов О. В. _____

Консультант з розділу «Розробка стартап-проектів»:
Доцент, к.е.н.
Бояринова К. О. _____

Рецензент: _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Ініціали, прізвище

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Харуку Івану Миколайовичу

1. Тема дисертації «Офтальмологічна система контролю параметрів колірного зору», науковий керівник дисертації Муравйов Олександр Володимирович, старший викладач, кандидат технічних наук, затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом дисертації: 18 грудня 2018 року.
3. Об'єкт дослідження: кольоросприйняття як функція оптичної системи ока.
4. Вихідні дані: спектральний діапазон роботи оптичної системи $\Delta\lambda = 0,34-0,76$ мкм; кількість відтінків кольорів для діагностики кольоросприйняття пацієнта не менше 16.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: виконати літературний огляд за темою дослідження, провести аналіз існуючих систем-аналогів; розробити оптичну систему та виконати її моделювання; синтезувати функціональну схему системи.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: схема оптична, функціональна схема, результати моделювання роботи системи, оглядовий плакат розробленої системи.

7. Орієнтовний перелік публікацій: публікація однієї статті в XI науково-практичній конференції студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування».

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проектів	Бояринова К. О., доцент		

9. Дата видачі завдання: 1 вересня 2018 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літературних джерел	4 тижні	
2	Моделювання оптичної системи	3 тижні	
3	Розробка функціональної схеми	1 тиждень	
4	Підбір компонентів функціональної схеми	2 тижні	
5	Оформлення розділу «Розробка стартап-проектів»	2 тижні	
6	Структурування пояснювальної записки	2 тижні	
7	Оформлення плакатів та презентації	1 тиждень	

Студент

Харук І. М.

Науковий керівник дисертації

Муравйов О. В.

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

Анотація

Представлена робота містить 73 сторінки, 28 ілюстрацій, 22 таблиці та 31 найменування використаних джерел.

В роботі проведено огляд літературних джерел за тематикою дисертаційного дослідження. Описано дефекти та захворювання зору людини, а також можливості їх виявлення. Основним напрямком, на якому було зосереджено огляд – порушення сприйняття кольору оком людини та аналіз існуючих систем, за допомогою яких подібні порушення можна виявити. На основі проведеного огляду літературних джерел була розроблена функціональна схема та виконано підбір елементів, які дозволяють автоматизувати процес діагностики колірного зору людини. Виконано синтез системи з використанням сучасного програмного забезпечення в узгодженні з елементами функціональної схеми. Також в дисертації присутній розділ розробки стартап-проекту, в якому описується можливість виходу даної системи на ринок та обґрунтована можливість складання конкуренції існуючим аналогам.

Ключові слова: кольоросприйняття, дефекти зору, моделювання, оптична система, автоматизація.

Abstract

The presented paper contains 73 pages, 28 illustrations, 22 tables and 31 names of the used sources.

In the master's dissertation the review of literary sources on the subject of diagnostics of a person's view was conducted. Defects and visual impairments, as well as the possibility of their detection, are described. The main focus on the review was the violation of the perception of color by the human eye and the existence of systems by which such violations can be detected. On the basis of the review of literary sources, a functional scheme was developed and a selection of elements was made that allow automating the diagnostic process of the system. Synthesis of the system with the use of software, in coordination with elements of the functional scheme is executed. Also in the dissertation there is a section of the development of the startup project, which describes the possibility of the release of this system on the market and to compete with existing analogous systems.

Key words: color perception, defects of vision, modeling, optical system, automatization.

Зміст

Перелік умовних позначень

ВСТУП

Розділ 1.ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	8
1.1. Сучасні методи діагностики.....	9
1.2. Види візометрії	10
1.3. Рефракції ока	12
1.4. Оптична система ока.....	14
1.4.1. Функція та будова кришталика	16
1.4.2. Функції та будова сітківки ока	18
1.4.3. М'язи ока	18
1.5. Дефекти зору.....	19
1.5.1. Ергографія.....	21
1.5.2. Акомодометрія	21
1.5.3. АкомодогRAFія	21
1.5.4. Кольоросприйняття.....	22
1.5.5. Види порушення сприйняття кольору	23
1.6. Аналогічні системи	27
1.7. Висновки до розділу	31
Розділ 2.ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА	32
2.1. Підбір елементної бази	33
2.1.1. Вибір світлодіода	33
2.1.2. Підбір двигуна.....	36
2.1.3. Підбір мікросхеми.....	39
2.1.4. Карта пам'яті microSD та адаптер.....	44

2.1.5. Підбір кнопок керування.....	46
2.1.6. LCD дисплей.....	48
2.2. Висновки до розділу	48
Розділ 3.МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ.....	49
3.1. Принцип роботи системи	49
3.2. Синтез системи в програмному забезпеченні	52
3.2.1. Синтез тестового каналу	52
3.2.2. Синтез еталонного каналу.....	55
3.2.3. Компоненти системи	56
3.3. Висновки до розділу	59
Розділ 4.РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ОФТАЛЬМОЛОГІЧНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ КОЛІРНОГО ЗОРУ».....	60
4.1. Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології).....	60
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	61
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту	62
4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту	67
4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	69
4.6. Висновки до розділу	72
ВИСНОВКИ	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	

Перелік умовних скорочень

ОС – оптична система

ДЗ – діагностика зору

БФ – блок формування

УЗД – Ультразвукова діагностика

ПСК – порушення сприйняття кольору

ВСТУП

Актуальність

Діагностика зору (ДЗ) людини на сприйняття кольору досить важлива складова при загальній діагностиці ока. Дедалі частіше з'являються вимоги до обов'язковості перевірки якості бачення та кольоросприйняття. Особливо така процедура потрібна в першу чергу військовослужбовцям, особам, які працюють водіями громадського транспорту, пілотам і т. д. Перевіряти зір можна не дуже часто, однак за ним потрібно слідкувати, оскільки досить часто початкова стадія або етап розвитку якихось симптомів, що ведуть до погіршення зору, не дуже помітні. Часто люди списують на банальну перевтому очей або тривалу роботу перед монітором комп'ютера саме той етап, який потрібно коректувати. А, щоб можна було робити корекцію, потрібно ці відхилення, навіть мінімальні, виявити. З іншої сторони, можна не відчувати мінімальні зміни з зором, але пізніше вони дадуть про себе знати, і можуть обернутись в ту форму, що не так просто лікується. Тому, регулярна перевірка чи діагностика ока завжди зменшує ризик запізно виявлених відхилень, та навіть допомагає в тому, щоб можна було б на самих перших етапах виникнення захворювання чи порушення тими чи іншими методами вилікувати.

Якість та відповідно достовірність перевірки дуже важливий показник, який повинен відвідати зазначеним стандартам, тому відповідно до діагностики лікар ставить діагноз, згідно якого назначається певна процедура лікування чи корекції, в залежності від результатів контролю. Цей параметр являється в принципі найважливішим, бо може призвести до критичних наслідків, коли замість лікування пацієнту роблять гірше.

Метою роботи є вирішення завдання розробки автоматизованої системи діагностики колірного зору людини і дослідження її характеристик на основі комп'ютерного моделювання.

Об'єкт дослідження – кольоросприйняття як функція оптичної системи ока.

Предмет дослідження – автоматизація діагностики колірного зору людини.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Автоматизація системи для контролю сприйняття кольору.
2. Запис результатів проведеної діагностики в цифровому форматі.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Діагностика зору надто важлива, особливо при лікуванні очей. Вона дозволяє знайти чи визначити як серйозні захворювання так і не дуже помітні на перший погляд, виявити різного роду проблеми та можливість визначити способи їх вирішення. Вирішуються проблеми з очима як за допомогою хірургічного втручання, так і терапевтичним способом, в залежності від проблеми, причини її появи. Дані результатів всесвітньої практики стверджують, що імовірність у виникненні негативних наслідків чи побічних дій після хірургічного втручання задля лікування очей складає менше 1%. Такий показник можна досягнути безпосередньо при високоякісній системі діагностики зору.

Причини проблем, зв'язаних з зором, можуть бути як спадкові, так і через несприятливий вплив зовнішнього середовища. За допомогою діагностики можна виявити чинники, які негативно впливають на здоров'я очей, затвердити правильний діагноз і визначити в подальшому план лікування пацієнта.

Проблеми з ушкодженням органів зору займає одне з передових місць серед інших захворювань ока і завжди важливі щодо ускладнень і прогнозу.

Пошкодження ока розділяють на механічні або травми та опіки.

До травм відносяться контузія та поранення. Контузія завдається тупим предметом і викликає здебільшого пошкодження всіх відділів ока, поранення ж наносяться з використанням гострих предметів. Пошкодження очного яблука бувають двох видів – проникаючі та непроникаючі.

Опіки можуть бути термічні, хімічні та променеві (обумовлені дією ультрафіолетових, інфрачервоних та рентгенівських променів). Здебільшого зустрічаються опіки комбінованого типу ушкодження ока.

В залежності від обставин та умов, при яких була отримана травма, пошкодження поділяють на виробничі, побутові, шкільні, спортивні, військові та кримінальні.

1.1. Сучасні методи діагностики

На даний момент будь-яка діагностика, в тому числі й ДЗ проводиться із застосуванням високотехнологічного обладнання. Певний тип діагностики дає ту чи іншу інформацію про стан очей, за допомогою якої можна визначити проблеми з зором, якщо такі є, а також причини їх виникнення. Найпростішим видом діагностики є візуальний, однак він не може гарантувати точні результати. За допомогою нього можна тільки поверхнево оцінити загальний стан ока, його рухливість тощо. Така діагностика дозволяє виявити тільки дуже грубі відхилення від норми, це може бути зв'язано, наприклад, з рогівкою ока.

Сучасна техніка діагностування збільшує можливості контролю параметрів ока. Досить популярними методами є: візометрія, тонометрія, біомікроскопія, ультразвукова діагностика, електроретинографія[1].

Візометрія допомагає у визначенні гостроти зору. Для цього використовуються різноманітні таблиці. Можна використовувати цей метод і для корекції зору з оправами та лінзами. Він вважається традиційним методом для перевірки гостроти зору і водночас дуже необхідним, тому що, наприклад, при катаракті, відомо, що гострота зору знижується. За допомогою цієї методики можна діагностувати на початковій стадії.

Тонометрія дозволяє проводити вимірювання внутрішньо очного тиску. Виконується він за допомогою безконтактного методу, оскільки вважається найбезпечнішим серед інших. За допомогою пневмотонометрії можна за досить короткий проміжок часу отримати потрібний результат, причому для досліджуваного це буде повністю безболісно.

Біомікроскопія дає можливість здійснювати максимально повне візуальне діагностування ока. Здійснюється дослідження за допомогою щілинної лампи, яка робить контраст між яскраво освітленою ділянкою і неосвітленою, після чого пошкоджена частина ретельно контролюється. Таким способом можна визначити причини захворювання та встановити потрібне лікування.

За допомогою ультразвукової діагностики можна побачити двовимірне зображення склоподібного тіла, задню частину ока та орбіту. Вона дозволяє виявити сторонні частинки в оці, можна визначити захворювання та в деяких моментах встановити причини його появи. Дуже доречною функцією при діагностиці є розрахунок сили заломлення, яка потрібна для імплантації нового кришталика.

Електроретинографія реєструє зміни електричної активності клітинних елементів сітківки ока через вплив на нього світлового подразника. Цим методом можна зробити якісну оцінку функціонального стану шарів сітківки зорового нерва.

1.2. Види візометрії

Діагностування проводиться спеціальними таблицями. Вони розташовуються на відстані 5-6 метрів від досліджуваного та бувають декількох видів.

Сивцева-Головіна – один з найпоширеніших варіантів, що представляє з себе 12 рядів букв алфавіту різного масштабу. Масштаб зменшується з кожним рядком від верхнього до нижнього. Перевіряється поперемінно два ока. Якщо в досліджуваного нормальний зір, то він бачить третій рядок знизу[2].

Таблиця Орлової – призначена для офтальмології дітей віком від трьох років.

Таблиця Снеллена – аналог таблиці Сивцева-Головіна, відрізняється тільки використанням латинських символів.

В сучасних кабінетах офтальмології ДЗ проводиться за допомогою комп'ютерної техніки. Досліджуваний фіксує свій погляд на точці комп'ютерного монітора, а протягом наступних двох хвилин видається результат, за яким можна судити про гостроту зору. До переваг можна віднести швидкість, точність, також безболісність процесу, що для більшості людей не менш важливо, але недоліком виступає складність оптичної системи. Тому звертаються до традиційної методики[3].

Тонотрія ока вимірює внутрішньо очний тиск, який з'являється в внутрішньо очній рідині. У процесі вимірюється так звана оцінка «пружності» ока. Методика перевірки базується на деформації ока, коли на рогівку ока поступає зовнішній вплив, в залежності від внутрішньо очної рідини. Для діагностики серйозних захворювань очей, наприклад, глаукоми, що веде до сліпоти даний метод є одним з основних. Рекомендується проводити перевірку внутрішньо очного тиску раз в рік.

Таке офтальмологічне дослідження можна проводити декількома методами. Нормальні показники внутрішньо очного тиску мають залежність від методів їх проведення. В офтальмології використовуються три основні методи: пальцева тонотрія, по Маклакову та безконтактна.

Пальцева тонотрія проводиться із застосуванням подушечок пальців офтальмолога через повіки, визначаючи напруженість ока. Застосовується здебільшого в після операційному періоді, через те, що пацієнта не можна піддавати інструментальному вимірюванню.

Сутність тонотрії очного яблука по Маклакову в тому, що досліджуваному на око ставлять, змочений фарбою, предмет певної маси. Перед цим роблять анестезію ока. Після проведення цих дій беруть папір і виконують відбиток, який спеціальною лінійкою заміряють, щоб дізнатись скільки фарби зникло з предмета. Пояснюється це тим, що чим більша площа, і, відповідно, більше фарби на оці, тим менший внутрішньо очний тиск і навпаки. Метод точніший за попередній, проте його не завжди можна використати.

Безконтактним способом також можна визначати тонотрію ока. На рогівку ока штучно створюється деякий зовнішній тиск і визначається швидкість зміни її форми та ступінь. Прямий контакт відсутній, через що можна відкинути можливість занесення будь-якої інфекції. Діагностика виконується в автоматичному режимі за досить короткий період часу. Досліджуваному потрібно зафіксувати голову в пристрої і спостерігати гарячу точку. Пристрій подає повітря уривками, після чого рогівка змінює свою форму. Відповідно до цих змін пристрій показує тиск.

Такий метод можна використовувати для великої кількості діагностик, або коли потрібно саме безконтактний спосіб перевірки по тих чи інших причинах. Недоліком методу, в порівнянні з попереднім, є точність вимірювання.

Ультразвукова діагностика ока (УЗД) – це метод, за допомогою якого можна знаходити відхилення, зв'язані з оком. Являється одним з безпечних методів діагностики. За допомогою УЗД можна виявляти пухлини, інформацію стосовно нерва ока, м'язів, судин.

За основу взятий принцип ехолокації. УЗ передавач випромінює хвилі у високому діапазоні частот, які попадають на об'єкт контролю, віддзеркалюються від нього і потрапляють на приймач. В приймачі виконується інтерпретація отриманих даних в картинку та виводиться на дисплей. В сучасній офтальмології УЗД ока досить інформативний метод контролю.

До переваг УЗД ока можна віднести безпеку, тобто достатньо малу імовірність передати інфекцію, відсутність радіоактивного випромінювання, інформативність, неруйнівний метод діагностики, швидкість виконання контролю[4].

Завдяки сучасні методам діагностування можна достатньо точно проводити контроль стану здоров'я людини. Дедалі сам процес діагностики робиться безпечнішим, достатньо надійним, а саме головне – безболісна у використанні.

Одними з найбільш поширених дефектів зору є короткозорість, далекозорість, астигматизм та пресбіопію. Розглянемо детальніше, чим кожен з них являється, яка між ними різниця та можливості вирішення.

1.3. Рефракції ока

Людина, в якій немає проблем із зором бачить однаково добре як близько, так і далеко. Існує поняття еметропії – це рефракція ока, при якому спостерігається чітке зображення предметів на будь-якій дистанції в стані спокою акомодатії.

Нормальна рефракція або еметропія спостерігається у випадку, коли зображення предметів формується на сітківці ока.

У випадку, коли фокус зображення формується за площиною сітківки, відповідно предмети зображення нечіткі, то мова йде про порушення рефракції чи еметропії

Види еметропії:

- Гіперметропія або далекозорість
- Астигматизм
- Пресбіопія
- Анізометропія
- Амбліопія

Розглянемо кожний вид детальніше.

Гіперметропія – випадок, коли фокус зображення предметів розташовується поза сітківкою ока і через слабку заломлюючу силу ока погіршується зір. При не сильно вираженій гіперметропії, то його можна частково скоригувати через акомодацию, тобто через здатність ока бачити зображення предметів на різній відстані.

Коригування гіперметропії проводиться за допомогою позитивних лінз, які виконують функцію переміщення фокусної відстані на сітківку, після чого очі без акомодации бачать зображення чітко.

Міопія – це навпаки, коли фокус знаходиться перед сітківкою ока, а через надлишкову силу заломлення ока погіршується зір. В такому випадку, на жаль, через акомодацию не можна виконати коригування. Короткозорість можна скоригувати через розсіювальну або негативну лінзу. Вона забезпечує переміщення фокусної відстані зображення предметів на сітківку ока, внаслідок чого отримується чіткість бачення.

Пресбіопія – послаблена акомодация ока, через що неможливо на сітківці ока спостерігати чітке зображення предметів, які розміщені близько.

При еметропії можливі випадки астигматизму ока, який потрібно коригувати. Він може з'явитися через неправильну форму рогівки ока або в

рідших випадках через кришталик. При хорошому зорі рогівка ока та кришталик відповідають сферичній формі, а в стані астигматизму ця сферична форма порушується і рогівка має різну кривизну, відповідно і різну силу заломлення. Це проявляється в тому, що зображення буде спотворене, бо якась частина буде розмита[5].

Дефекти, пов'язані з оком, зором є різні, але існують певні ступені тих чи інших дефектів. Тим більша еметропія, чим більша відстань фокусу від сітківки ока.

Аметропія буває трьох ступенів:

- Слабка – 3,00 дптр і менше
- Середня –3,25-6,00 дптр
- Висока – більше 6,00 дптр

Зазвичай, ступінь еметропії розраховують, беручи до уваги силу лінзи, якою коригується. Тобто, якщо міопію коригують за допомогою лінзи з силою 1,00 дптр, то це означає, що ступінь міопії 1,00 дптр[6].

Для коригування зорових порушень є декілька способів:

- Застосування окулярів
- Використання контактних лінз
- Лазерна або хірургічна корекція зору

1.4. Оптична система ока

Оптична система (ОС) ока достатньо непроста, як здається на перший погляд, маючи в асортименті дуже багато різноманітних елементів. Загалом така система необхідна для розсіювання та фокусування потоку світлових частинок. Основне завдання – відтворити зображення в високій якості. Саме через оптичну систему ока ми сприймаємо інформацію про все, що знаходиться в полі нашого зору. І можемо спостерігати все навколо в кольорі та об'ємі.

Найбільш цікавим і особливим є адаптація системи до різної яскравості, завдяки природній адаптації ока. Також унікальна можливість виконувати об'єднання в єдину картину всього того, що спостерігається окремо кожним

оком. Дана властивість має назву бінокулярність, являється природнім рефлексом оптичної системи ока.

В момент отримання зображення з кожного ока відбувається подвоєння предметів. Це пояснюється неоднаковістю нервових елементів в одному і другому оці, вони частково відрізняються. Це сприяє можливості бачити рельєф, орієнтуватися у відстані між людиною і об'єктом спостереження. Тобто, в момент, коли людина на щось дивиться, її очі, кожне окремо виконує різну функцію. Цю функцію можна достатньо просто перевірити. Потрібно спочатку одним оком подивитися на якийсь предмет, після чого подивитися другим оком аналогічно. Дивитися потрібно через невеличку щілину або отвір. Так зване ведуче око не замітить чогось незвичайного при спостереженні і зображення буде на одному місці, в той час, коли для, так званого, ведучого ока буде спостерігатись ефект заміщення. Тому, ведуче око являється провідним елементом в системі зору, так як воно виконує функцію формування картини.

Важливим питанням для оптичної системи ока являється надвисока пильність. У випадку відчуття дискомфорту, зв'язаних з очима, чи конкретно із зоровими якість, потрібно негайно звертатися до офтальмолога, бо елементарна профілактика забезпечить гарантії щодо збереження зору та здоров'я цілої системи ока.

ОС ока складається з наступних компонентів:

1. Кришталик
2. Рогівка
3. Передня камера
4. Склоподібне тіло
5. Сітківка
6. Будова рогівки та її функція

Рогівка ока представляє з себе оболонку прозорого кольору, являється компонентом системи, в якій відбувається заломлювання світла. В ній знаходиться достатньо велика кількість нервових волокон, що забезпечують високу чутливість

Рогівка складається з:

Епітелію – верхній захисний шар, призначений для регулювання рідини та постачання кисню в оці.

Боуменової мембрани – забезпечує живлення, а також деякі захисні функції, товщина приблизно 8-12 мкм.

Строми – основна частина, в складі якої волокна колагену.

Десцементової мембрани – відповідає за стійкість до механічних пошкоджень.

Ендотелію – виконує функцію прозорості рогівки ока.

Слізної плівки – виконує функцію захисту рогівки від зовнішнього впливу та захищає оболонку ока від пересихання.

Лінзи ока – фокусує світло в правильному напрямку.

1.4.1. Функція та будова кришталика

Кришталик ока містить в собі нервові закінчення, лімфодіодні тканини чи кровоносних судин. Своїм виглядом він нагадує двояковипуклу лінзу з різним радіусом, по задній і передній поверхні, кривизни. Верхня частина кришталика покрита прозорою капсулою. Своїм зовнішнім виглядом від схожий на цибулину.

В оптичній системі ока кришталик відповідає за дуже серйозну і потрібну функцію. З його допомогою світловий потік проходить і попадає на сітківку ока. Він може також виконувати функцію заломлення світла.

Однією з найважливіших функцій, які виконує кришталик – це вимушена робота механізму акомодатії ока. Існує перегородка для поділу ока на дві відділи, нижній відділ при цьому захищається від будь-якого попадання у склоподібне тіло.

Кришталик і рогівку можна рахувати як оптичні лінзи. Кожна лінза має свої основні параметри, які її характеризують – здатність фокусувати світло та фокусна відстань. Фокусна відстань – дистанція від центра до фокуса, іншими словами, характеристика, з-за якої отримується якісне, чітке зображення, яке

проходить через оптичну лінзу. Рисунок 1. Відображає процес формування картини предмету.

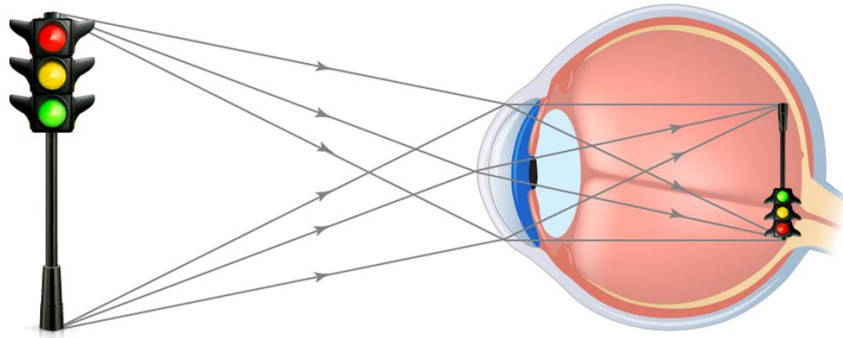


Рисунок 1.1. Формування зображення

Фокусна відстань і оптична сила взаємозалежні між собою. Стандартні лінзи вважаються недосконалими, бо в них сферична аберация. Це такий дефект, пов'язаний із зором тому, що світлові промені при проходженні через лінзу не фокусуються повністю в одній площині, а є якась частина променів, що будуть сфокусовані ближче або далше. На рисунку 2. Показано сферичні аберации в двох випадках. Відносно моменту, де фокусуються промені, аберация буде або позитивна сферична або негативна сферична. Всі світлові промені, які будуть сфокусовані ближче або далше, відносно фокусної площини, будуть розмитим зображенням попадати на сітківку ока.

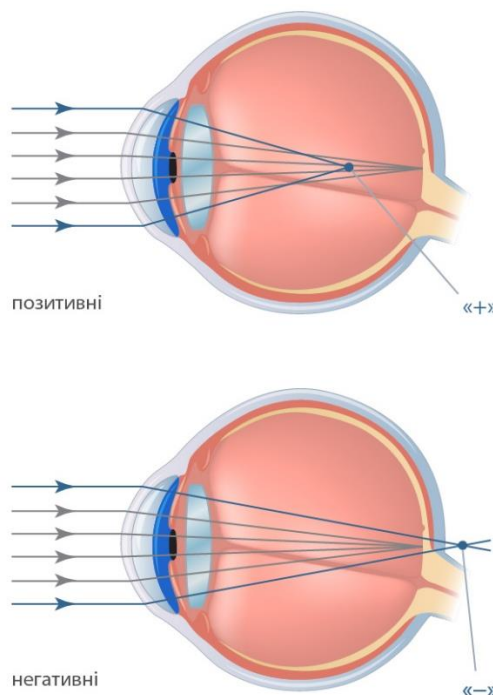


Рисунок 1.2. Сферичні аберации ока

Лінза із сферичною аберацією працює наступним чином: світлові промені при попаданні фокусуються в точці до або після фокальної площини, створюючи при цьому додаткові зображення і знижується контраст через дефокусування променів.

Для того, щоб сфокусувати промені в одній площині потрібно використовувати асферичну лінзу, оскільки в ній немає сферичної аберації.

Для того, щоб отримане зображення було у високій якості, треба скласти оптичну систему з декількох тільки асферичних лінз. Якщо будуть присутні сферичні лінзи, то аберація оптичної системи буде дорівнювати сумі аберації кожної лінзи окремо. Розміщувати лінзи в оптичній системі потрібно на одній осі і по центру, щоб точка фокусу і центр, розміщених в оптичній системі, лінз були на одній лінії.

Око людини скомпоновано з рогівки і кришталика, що являються сферичними лінзами із позитивною аберацією і негативною аберацією відповідно. Кришталик, рогівка і основна фокальна точка ока сходяться в їх центральній точці по осі. Причиною цьому є момент компенсації позитивних сферичних аберацій рогівки ока негативними в кришталика. Внаслідок цього зір людини досягає ідеалу та контрасту[7].

1.4.2. Функції та будова сітківки ока

Сітківка ока – це тонкий шар тканини, дуже чутливий до світла. З її допомогою отримана інформація передається до мозку на обробку у вигляді електричних імпульсів. На виконання зорового процесу впливають епітеліальний шар та нервові клітини. Функція заключається в тому, щоб перетворювати один тип енергії в короткий електромагнітний імпульс[8].

1.4.3. М'язи ока

Око людини містить в собі дві складові м'язів. Одні групи м'язів ока відповідають за його рух, інші – за повіки. М'язи ока можна розділити на прямі та косі. За всі вертикальні та горизонтальні рухи відповідають прямі м'язи,

обертання навколо осі виконують косі м'язи. Тотожність цих двох груп м'язів вважається за норму. На практиці часто зустрічається біль в м'язах ока. Це може бути від банальної перевтоми очей. Наприклад, якщо людина використовує контактні лінзи, вони спричиняють деякий дискомфорт і зчісують поверхню ока. Під час перенесення якоїсь інфекції. Щоб підкріпити м'язову складову очей потрібно час від часу проводити тренувальні вправи для вертикальних і горизонтальних груп м'язів. Теж саме потрібно проопрацьовувати з круговими м'язами[8].

Їх можна поділити на три частини:

- Очноямкова – створює коло з м'язів.
- Вікова – допомагає з роботою круговим м'язам.
- Слізна – збільшує слъзовий мішок.

1.5. Дефекти зору

На сьогоднішній день існує чимало дефектів, пов'язаних з зором. Найбільш поширеними є короткозорість або міопія та далекозорість. Розглянемо детальніше ці вади.

Короткозорість являє собою такий дефект, при якому побачене зображення в системі ока формується перед сітківкою. Таке можливе при умовах завеликого заломлення світлового потоку через рогівку або кришталік, або, коли очне яблуко витягнуте в довжину.

ОС ока людини не дозволяє вирішити таке відхилення без застосування додаткових зовнішніх лінз. При спостереженні об'єктів, що знаходяться далеко від людини з міопією, все зображення буде нечітким та розмитим, а коли предмет чи об'єкт близько до ока – якість зображення досить хороша. Найчастіше міопія спостерігається в людей дитячого віку і може прогресувати приблизно до 18-20 років.

Міопію не можна віднести до розряду хвороби. Це швидше анатомічна вада або особливість ока. Якщо довжина очного яблука буде більша всього на 1 мм, то короткозорість при цьому може розвинути до -3 дптр.

Існує також нічна міопія, коли око добре бачить вдень, а в нічний період потрібно використовувати окуляри, бо гострота зору послаблюється. Пояснити це можна тим, що в темряві зіниці ока розширюються і через це зменшується фокусування, в результаті чого зображення не таке чітке як при звужених зіницях. Також можна відмітити факт існування сезонної міопії, яка проявляється в зимовий період часу.

Бувають випадки, коли через тривалий час перебування за екраном комп'ютера або читанням виникає спазм в акомодатії ока, а людина може розцінити це як початкову стадію міопії. Особливо, коли в такому стані не можна встановити фокус на далеко розміщених предметах. Такий стан очікуваний, особливо за довгим читанням чи навчанням. Щоб все прийшло в норму, потрібно елементарно дати відпочинок свої очам. В протилежному варіанті, коли потрібно довший час попрацювати, краще одягнути окуляри, аби очі не сильно напружувались.

Далекозорість – вада, обернена короткозорості, коли людина не здатна бачити предмети на близькій дистанції, проте хороша якість зображення на відстані. Зустрічається рідше, і здебільшого в людей старшого віку. До того часу кристалик може зробитися твердішим і не так якісно проводити зміни кривизни

З метою дослідження роботоздатності ока здійснюють перевірку на акомодатію. Акомодатія – отримання якісного зображення при різній дистанції від сітківки ока. У напруженому стані зір концентрується на ближній точці, в момент розслаблення – дальню.

Існує декілька дефектів, які можуть бути пов'язані з акомодатією:

1. Параліч акомодатії – спостерігається фокусування на точці в дальній відстані.
2. Спазм акомодатії – внаслідок тривалих перенавантажень на зір, коли око довгий час знаходиться в напруженому стані і практично не розслабляється

3. Пресбіопія – через погіршення кришталика з віком погіршується і акомодаційна здатність.
4. Високе напруження акомодативної ока – має існування при недостатньому відпочинку очей.
5. Акомодативна астенія – втома очей, у переважній більшості в людей з далекозорістю.

Для визначення параметру ширини акомодативної застосовують формулу по якій потрібно від значення дальньої точки спостереження відняти значення ближньої.

Об'єм визначається аналогічно формулі ширини акомодативної, використовуючи величини в діоптріях[9].

1.5.1. Ергографія

Даний метод використовується для більш точної перевірки роботи ока. Він допомагає визначити функції м'язів при певних навантаженнях на око. Отримані дані представляються графічно, по яких пізніше роблять висновки по працездатності м'язів ока.

1.5.2. Акомодометрія

Використовується апаратне забезпечення для дослідження стану зору, а саме акомодометр. На око штучно подається певна сила і фіксується реакція на ці дії. Висновки роблять згідно кривих по записах.

1.5.3. Акомодографія

Вважається найсучаснішою методикою діагностики з використанням комп'ютера. В процесі діагностики використовується акомодограф.

Всі ці методи діагностики зору можна поділити на два види:

Статичні – за допомогою оптичних лінз визначають дистанцію до об'єкта.

Динамічні – предмет поступово наближають до ока і спостерігають реакцію.

Види акомодациі

Акомодация ока людини буває абсолютна або відносна, в залежності від діагностики, яку проводять.

Абсолютна акомодация застосовується, закриваючи одне око. Для визначення акомодациі користуються формулою, де враховується значення рефракції та точки зору з високою чіткістю. Такі вимірювання виконуються акомодометром.

Відносна акомодация задіює діагностику двох очей одночасно. Досліджуваному дається текст з чотирьох рядків з таблиці для перевірки гостроти зору, і через оправу, в яку поміщають лінзи з додатнім чи негативним значенням він має його прочитати. Лінзи по одній додаються до тих пір, коли текст перестає бути чітким для сприйняття. Підсумовуючи максимальні значення однієї та іншої лінз, визначається відносна акомодация ока.

1.5.4. Кольоросприйняття

Здатність зору людини до вирізнєння об'єктів різного кольору називається кольоросприйняттям. Повного кольоросприйняття можна добитись при безпомилковій роботі системи зору людини.

Існує термін трихромазія, який стосується людей, що повноцінно бачать і розрізняються червоний, синій, зелений кольори. Зазвичай, людей з таким сприйняттям кольору прийнято називати трихромати.

Порушення хоча б одного з вище вказаних кольорів впливає на сприйняття кольору в цілому. Найбільше зустрічається порушення сприйняття зеленого або червоного кольорів. В принципі, навіть дуже незначне відхилення в сприйнятті одного з цих трьох кольорів веде до абсолютної неможливості змішати їх в ідеальних пропорціях. Відповідно до рівня кольоросприйняття можна зазначити:

- Аномальна трихромазія
- Дихромазія
- Монохромазія

Як і більшість вад з зором, додатково можна поділити їх на вроджені та набуті[10].

Якщо мова йдеться про вроджені порушення в сприйнятті кольору, вони відносяться до генетики і можуть залежати від статі. Згідно статистики, близько 8% чоловіків та до 1% жінок зустрічаються з такими відхиленнями. Існує три категорії вроджених відхилень в сприйнятті кольору: протан-дефект, дейтер-дефект, тритан-дефект, при несприйнятті червоного, зеленого та синього кольорів відповідно.

Відхилення можуть з'являтися й при захворюваннях або після них. Для точнішої оцінки стану зору потрібно проводити діагностику.

Особливість набутих порушень із сприйняттям кольору в тому, що здебільшого їхнє діагностування випадкове. Переважно, діагностика проводиться при перших проявах зниження гостроти зору. Початковий етап являє собою можливість втрати чутливості до вище вказаних кольорів. Якщо ж з'являються ускладнення, то можливе зниження відчуття до всіх трьох кольорів.

Відрізняються набуті відхилення в сприйнятті кольору від вроджених тим, що перші відчутні на початковому етапі, а при прогресуванні можливе спадання гостроти зору[11].

1.5.5. Види порушення сприйняття кольору

При відсутності одного із зорових пігментів в сітківці можна відрізнити тільки два кольори. Якщо відсутній пігмент червоного кольору, то це являється протанопічною дихромазією, або як в народі говорять дальтонізм. Аналогічна ситуація при відсутності зеленого та синього кольорів, які називаються дейтеранопічною дихромазією та тританопічною дихромазією відповідно. Важливо зауважити, що при відсутності або зменшенні активності якогось одного з трьох пігментів говорять про аномальну трихромазію[12].

За статистикою, найбільше порушень зафіксовано з червоно-зеленим сприйняттям кольору.

Сітківка ока людини має колбочки трьох видів, на яких зорові пігменти максимально поглинаються на трьох довжинах хвиль: синьому – 430 нм., червоному – 560 нм., зеленому – 530 нм. Кодування червоного і зеленого пігментів генетично розташовуються на Х-хромосомі, а синього – на сьомій хромосомі. Найрідше відбуваються мутації, які б впливали на синій пігмент. А з червоним і зеленим пігментами мутації відбуваються частіше і можуть призвести до часткової сліпоти – дальтонізму. В людей з такими мутаціями інше сприйняття кольору і відповідно комбінації з кольорами.

У випадку аномальної трихромазії зберігаються пігменти всіх трьох кольорів, але мутація якогось одного з них призводить до зміщення максимуму спектральної чутливості, що в свою чергу порушує співвідношення трьох основних кольорів для отримання потрібного кольорового відтінку.

При дихромазії людина не розрізняє один з трьох кольорів і для змішування використовує тільки два.

Як у випадку з аномальними трихроматами, так і з дихроматами гострота зору може бути навіть максимальна, але один колір буде ними сприйматися по-різному, особливо у питанні визначення відтінку.

Щоб виявити порушення сприйняття червоного кольору застосовують поліхроматичні таблиці, на яких відображені цифри. Їх можуть побачити тільки люди, в яких сприйняття кольору в нормі. Так як за статистикою такі відхилення виявляються частіше у чоловічої статі, то і логічно надавати перевагу у діагностиці саме чоловікам[13].

Таблиці для перевірки на дальтонізм в основному використовуються для людей з набутими відхиленнями в кольоросприйнятті. В принципі, вони не призначені для діагностики такого характеру, але, на жаль, іншого методу по простоті перевірки немає.

Дуже часто колірний зір погіршується через ураження жовтої плями ока чи зорового нерва. Подібне може спостерігатися в людей, які хворіли невритом зорового нерва, або після повернення гостроти зору кольори можуть бути не насиченими. У деяких випадках з інсультом, в залежності від травми можлива

поява колірної сліпоти, коли людина бачить все в чорно-білих тонах. Якщо травма відноситься до ушкоджень потиличної частини, то можлива амнестична афазія, коли людиною кольори розрізняються, але назвати їх вона не може.

На даний момент лікування від вродженого дальтонізму неможливе, тільки в деяких, досить рідких випадках і то, тільки коригування. Коригуються такі відхилення через оперативне втручання, але тільки після того, якщо відомо захворювання, що дало початок порушенню захворювання і його вилікування. Також деякі медичні препарати можуть подіяти на порушення сприйняття кольору (ПСК).

Для визначення порушень чи відхилень колірного зору існує аномалоскоп. Принцип роботи побудований на порівнянні двох кольорів. Еталонний колір встановлений жовтий, червоний і зелений для підбору жовтого кольору. При відсутності відхилень колірного зору людина за допомогою двох кольорів правильно підбирає пропорції. Якщо ж є відхилення – це зробити правильно не получится.

Найбільш поширеними приладами є спектро-аномалоскоп Рабкіна та Нагеля.

Призначений для діагностики кольоросприйняття прилад зарекомендував себе у галузі дослідження вроджених відхилень. За основу взято рівняння Релея, коли від потрапляння світлового променю на призму отримується спектр кольорів. Через три щілини виокремлюють три довжини хвиль, що відповідають червоному, жовтому та зеленому кольорам, червоний – 676 нм., жовтий – 586 нм., зелений – 0.55 нм. Дивлячись в окуляр приладу, спостерігається два поля з кольорами – еталонним жовтим та тестовим через змішування червоного та зеленого кольорів. Там таки можна побачити Релеївське рівняння, за яким визначається колірний зір.

Ще одним з приладів для діагностики є аномалоскоп Рабкіна, який служить для порівняння з кольором двох вертикальних полів. Утворені поля являють собою монохроматичні випромінювання певної довжини хвилі. Порівняння відбувається за яскравістю кольору.

Якщо з'являються сумніви по відношенню до сприйняття червоного кольору, в обов'язковому порядку потрібно пройти діагностику з використанням аномалоскопа. З його допомогою можна визначити сприйняття оком правильності кольору через змішування інших кольорів. Досліджуваний бачить в окулярі аномалоскопа випромінювання еталонного кольору і має підібрати тотожний йому колір. Результат видає лікар, знаючи як розпізнає колір здоровий і хворий пацієнт[14].

Необхідність такого роду діагностики вкрай важлива, оскільки для багатьох спеціальностей в різних галузях кольоросприйняття займає ключове місце. Це можуть бути як звичайні водії транспорту, так і військові, в авіації тощо. Цей показник служить для професійного відбору у війська спеціального призначення.

При вроджених відхиленнях сприйняття кольору немає відчуття аномального кольоросприйняття і в переважній більшості людина точно називає кольори. Коли ж йде мова про яскравість чи насиченість кольору або недостатня видимість, тоді з'являються відчуття недостатнього сприйняття.

Як було вище сказано, для перевірки колірного зору використовується або спеціальна пігментна таблиця, або аномалоскоп.

Таблиці створені таким чином, щоб порівнювати яскравість та насиченість. Кожна окрема таблиця формується з карток кольорів. З них складається якась фігура, яку добре бачать тільки люди з нормальним кольоросприйняттям. Людина з відхиленнями в кольоросприйнятті не побачить цю фігуру, бо не може відрізнити тон. Деякі таблиці містять цифри, які побачать навпаки тільки люди з порушеним сприйняттям кольору. Такі набори таблиць і карток підвищують точність діагностування.

Важливо організовувати діагностику тільки при денному освітленні. Досліджуваний з відстані одного метра до таблиці називає видимі знаки, які йому показує лікар. Період для кожного тесту декілька секунд. Початкові тести проводяться більше для роз'яснення завдання, їх проходять люди і з

нормальним кольоросприйняттям, і з відхиленням. Результати тестів реєструють, проводять аналіз даних і виводять діагноз або рівень аномальності.

Найбільш точним методом в діагностуванні відхилень сприйняття кольору являється аномалоскоп. Порівнюючи два кольори, можна говорити про наявність відхилення. По тому, як людина змішує кольори, щоб наблизитись до еталонного, видно, чи сприйняття кольору нормальне, чи є аномалії[15].

1.6. Аналогічні системи

Даний винахід відноситься до техніки медичного спрямування, а саме до пристроїв дослідження якості колірного зору. Його призначення – об’єктивна і точна оцінка якості колірного зору, для подальшого використання при професійному відборі операторів, що займаються візуальними спостереженнями об’єктів різноманітних кольорів, а також для вивчення зміни стану колірного зору в процесі професійної роботи або повсякденному житті. Наприклад, космонавти, оператори АС та ін.

Серед систем, що виконує контроль якості колірного зору, найпоширеніший у використанні є аномалоскоп Нагеля, який являє собою спектроскоп прямого бачення, в якому знаходиться блок формування (БФ) еталонного кольору, блок формування тестового кольору і блок, що поєднує два кольори в поле зору випробовуваного та влаштований так, що поле зору випробовуваного складається з верхньої і нижньої половин[16].



Рисунок 1.3. Аномалоскоп Нагеля

БФ еталонного кольору складається з коліматора і щілин, розташовані послідовно. На основі коліматора і двох щілин, що розташовані після нього, складається БФ тестового кольору. Щілина блоку формування кольору розташована таким чином, щоб випромінювання, яке виходить з неї відповідало монохроматичному випромінюванню жовтого кольору (589 нм), а щілини блоку формування тестового кольору установлені так, щоб вихідні випромінювання відповідали монохроматичному випромінюванню червоного (671 нм) і зеленого (536 нм) кольорів. Інтенсивність випромінювання еталонного кольору змінюється шляхом зміни ширини щілини в блоці формування цього кольору. Тестовий колір отримується при змішуванні випромінювання з двох щілин на призмі в блоці поєднання кольорів. Спеціальним гвинтом змінюється ширина щілин, але таким чином, що збільшення однієї призводить до зменшення іншої та навпаки. Положення цього гвинта визначається по шкалі від 1 до 100. Блок поєднання кольорів містить призму прямого бачення та бінокулярну призму. Випромінювання з блоку формування кольорів потрапляє на блок поєднання кольорів і встановлює у верхній половині поля зору тестовий колір, а нижню – еталонний. Досліджуваний, для досягнення суб'єктивної тотожності кольору, регулює суміш червоного і зеленого кольорів в верхній половині поля зору. По

значенню на шкалі регулюючого гвинта розраховується коефіцієнт аномальності колірною зору досліджуваного. По значенню коефіцієнта аномальності досліджуваного відносять до певної категорії аномальності[17].

Недоліком даного аномалоскопа є монохроматичні випромінювання, отримані внаслідок використання в блоках формування кольору коліматора і щілин. Це випромінювання спостерігає досліджуваний в якості еталонного кольору. Як відомо, монохроматичне випромінювання при попаданні в око викликає швидко втому, що призводить до спотворення результатів контролю. Блоки формування еталонного і тестового кольорів не дозволяють змінити довжину хвиль монохроматичних випромінювань так, щоб точка кольоровості еталонного кольору знаходилась на відрізку тестового кольору, тому досліджуваний в переважній більшості випадків не може досягнути суб'єктивної тотожності кольору, і, як наслідок, збільшується похибка вимірювання. Більшим мінусом є неможливість виявити критерій похибки вимірювання без знання конкретних даних по аномальності кольоросприйняття досліджуваного, а щоб його отримати – потрібно виміряти аномальність кольоросприйняття з вищою точністю, ніж дозволяє сам пристрій[17].

Менш поширеним є неспектральний аномалоскоп, який складається з двох оптичних каналів з блоками формування кольору і поєднання кольорів в поле зору досліджуваного. БФ еталонного кольору складається із змінного світлофільтра, а блок формування тестового кольору із рамки, що поєднує чотири світлофільтри, за допомогою яких можна при змішуванні відтворити різні кольори. Блок поєднання кольорів складається з кубика Люмера і окуляра. Випромінювання від освітлювача потрапляє в обидва оптичних канали, де офарбовується, проходячи через блок формування кольору, потім це випромінювання попадає на грань кубика Люмера. Кольоровість тестового кольору змінюється досліджуваним. Для цього в блоці формування тестового кольору всовують так, щоб частина випромінювання освітлювача закривалась одним світлофільтром, а друга частина – іншим. Всовуючи рамку більше або менше досліджуваний змінює кількісне відношення кольорів, змішування яких

і відображає для нього колір, тотожний еталонному. Величина цього відношення, що рахується за спеціальною шкалою аномалоскопа, дає можливість характеризувати кольоросприйняття колірному зору досліджуваного. Світлофільтри, що формують кольори, підібрані так, щоб точка кольоровості еталонного кольору лежала на відрізку, що відображає всі можливі кольори тестового кольору[18].

Недоліком цього аномалоскопа є недостатня точність вимірювання і, відповідно, контролю якості колірного зору, оскільки він орієнтований на випадок стандартного калориметричного спостерігача і не охоплює ті випадки відхилення в колірному зорі, коли точка еталонного кольору не лежить на відрізку, що відображає всі можливі кольори тестового кольору. Конструктивно це зв'язано з тим, що в блоках формування кольору використовується обмежений набір світлофільтрів, який не дозволяє отримати широкий вибір кольору, щоб охопити всі можливі аномалії в колірному зорі досліджуваних. Недостатня точність аномалоскопа призводить до неможливості визначення досить малих відхилень від норми в кольоросприйнятті. А це дуже важливо для людей, робота яких полягає в візуальних спостереженнях, помилка яких може призвести до надзвичайних ситуацій. Недостатня і вірогідність вимірювань на даному аномалоскопі, що обумовлена тривалістю вимірювання через необхідність одночасного порівняння в полі зору еталонного і тестового кольорів та механічних дій для зміни тестового кольору. При зміні тестового кольору досліджуваному потрібно пам'ятати колір до його зміни і проводити кореляцію до найбільш наближеної тотожності кольорів. Як відомо, що достатньо невелика кількість людей має здатність короткочасної колірної пам'яті. А також, при проведенні таких операцій затрачується деякий час, тривалість якого може наблизитись до колірної астенопії, що призведе до принципово неправильних результатів, які не будуть мати ніякого сенсу. В аномалоскопі складний процес вимірювання, обумовлений тим, що перед проведенням дослідження кожному досліджуваному необхідно роз'яснювати правильність виконання операцій порівнювання кольору та що буде відбуватись

з тестовим кольором при регулюванні і час проведення контролю досліджуваній повинен виконувати порівняння кольорів, тримаючи в пам'яті еталонний колір і пам'ятати про правилах виконання операцій[18].

1.7. Висновки до розділу

В даному розділі виконано аналіз сучасних методів діагностики ока людини, описано види та методики діагностування. Також розглянуто оптичну систему ока, функції окремих її складових, дефекти та порушення, зв'язаних з оком та конкретно із зором людини. Показано системи та методи, за допомогою яких проводиться діагностика відносно різноманітних відхилень та дефектів, зокрема для кольоросприйняття. Виявлено, що найбільш поширеним серед всіх систем є аномалоскоп Нагеля.

РОЗДІЛ 2. ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА

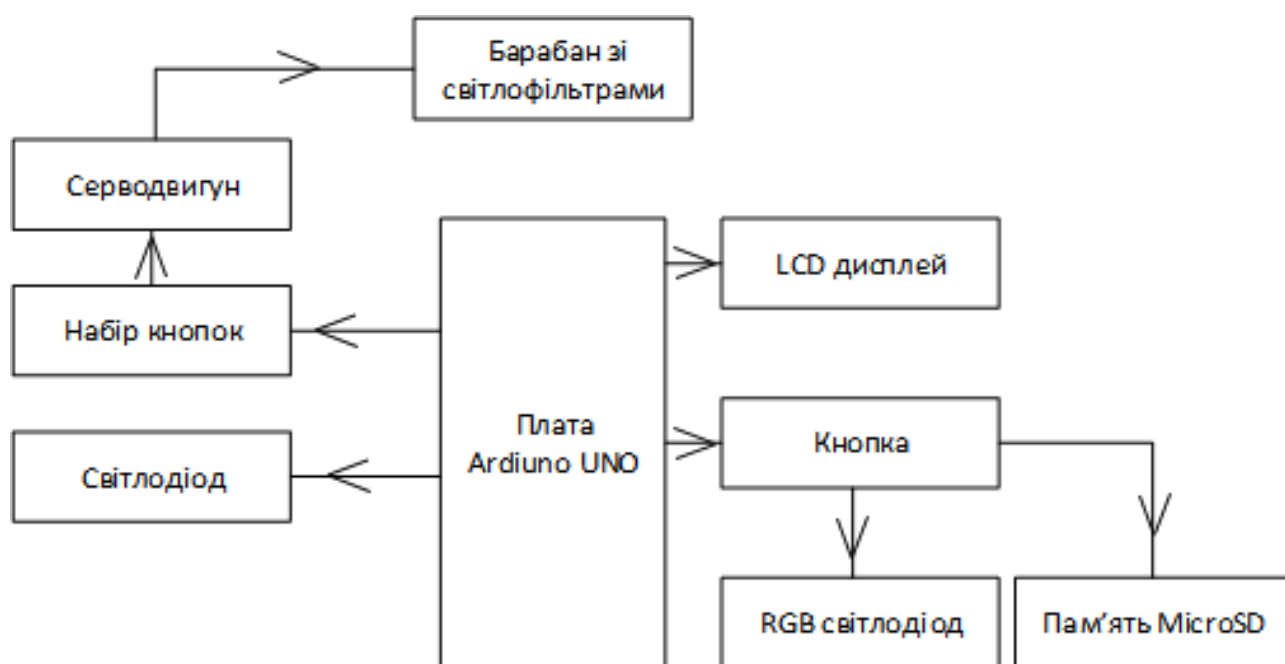


Рисунок 2.1. Функціональна схема роботи системи

Система складається двох оптичних каналів – еталонного та тестового. За допомогою RGB світлодіода, який знаходиться в еталонному оптичному каналі під керуванням плати Arduino в автоматичному режимі відображається колір, що відповідає одному з кольорів світлофільтра. Випромінення розсіювального світла від RGB світлодіода потрапляє на двоопуклу лінзу, на виході з якої отримуємо паралельний хід променів світла. Після цього відбивається від грані призми і потрапляє в окуляр, в який дивиться пацієнт. В тестовому оптичному каналі встановлений світлодіод з випромінюванням білого кольору. Проходячи через лінзи, попадає на світлофільтр, який встановлений в барабані. За допомогою серводвигуна, який через натискання кнопок «Вперед», «Назад» прокручує барабан у відповідному напрямку, так щоб в оптичному каналі з'явився світлофільтр іншого кольору. В момент, коли на думку пацієнта в двох каналах він спостерігає однаковий колір, по натисканні третьої кнопки «Готово» записується інформація в текстовий файл в пам'ять з цифрою, під якою випромінювався еталонний колір та номер світлофільтра. Паралельно з цим, ці ж дані відображаються на екрані LCD дисплея.

2.1. Підбір елементної бази

2.1.1. Вибір світлодіода

Світлодіоди стають все більш затребуваними рішеннями і на сьогоднішній день є найбільш ефективним, причому в самих різних сферах. Їхньої потужності достатньо для таких завдань, корпуси світлодіодів оптимізуються під різноманітні цілі, колір випромінювання може бути абсолютно різний. Світлодіоди поставляються в продажу в великому виборі. При цьому, в них періодично з'являються інноваційні рішення.

Випромінювання може бути будь-якого кольору, достатньо виробникові просто підібрати певний напівпровідник і легуючі домішки.

Всі сучасні світлодіоди можна класифікувати за певними ознаками. Для початку ознайомимось із ними. Світлодіод – це напівпровідник, що може перетворювати електричний струм у світло. Напівпровідниковий кристал, що являється одним з основних компонентів, багатошаровий, та характеризується двома типами провідності – діркової і електронної. Робота відбувається за рахунок ковалентних зв'язків між атомами. За своєю структурою світлодіод нагадує випрямляючий діод. Він має два виводи – катод і анод. Це потрібно для правильного підключення світлодіода за полярністю до джерела електричного струму.

Розраховані такі світлодіоди на струм в 20 мА. Значення струму можна коригувати, але відповідно буде змінюватись колір та яскравість світлодіода. В деяких випадках потрібно ставити стабілізатор, щоб забезпечити відповідне функціонування. Відповідно до складу напівпровідників, світлодіод буде випромінювати червоний, жовтий, зелений або синій колір.

Застосування

Світлодіоди застосовуються практично в будь-яких сферах. А все тому, що майже всі види світлодіодів добре зарекомендовані своїми енергоефективними характеристиками, терміном служби; можливістю задавати колір випромінювання, регулювати яскравість світіння.

Через великий попит на ці вироби, та їхню цінову політику, світлодіоди витісняють звичайні лампи. З використанням світлофільтрів можна розширити сферу застосування світлодіодів, коли виникає питання підбору кольору.

Світлодіоди не мають шкідливих випромінювань. Це збільшує попит на них та сфери застосування.

Типи світлодіодів

Можна виділити наступні типи світлодіодів: DIP; Spider LED; SMD; COB.

Світлодіоди типу DIP відносяться до перших, що стали масово продаватися. Вони являють собою кристали, що розміщені в корпусах з лінзою, яка створює світловий пучок. Але, світлодіоди даного типу, рідко використовуються у високотехнологічній сфері. Найчастіше їх застосовують як компоненти для освітлення реклами, підсвічування і т.п. Світлодіоди DIP інсталюються на плату, де перед тим треба проробити отвори[19].

RGB світлодіод

В основі ідеї створення триколірного світлодіода лежить оптичний ефект отримання різноманітних відтінків шляхом змішування 3-х базових кольорів. В якості базових квітів зазвичай використовуються червоний (R), зелений (G) і синій (B). Тому був створений саме RGB світлодіод.

Конструктивно триколірний світлодіод має 3 кольорових світлодіоди, змонтованих в загальному корпусі, а якщо бути більш точним, 3 кристала, інтегрованих на одній матриці. На рисунку 4 представлена мікрофотографія інтегрального RGB світлодіода. Кольорові квадрати на фото – це кристали основних кольорів.



Рисунок 2.2. Інтегральний RGB світлодіод

Для адаптації до різних варіантів схеми управління, RGB діоди виробляються в декількох модифікаціях:

1. Виконання з загальним катодом
2. Виконання з загальним анодом
3. Без загального анода або катода, з шістьма висновками

У першому випадку світлодіод управляється сигналами позитивної полярності, які надходять на аноди, у другому – негативними імпульсами, які подаються на катоди. Третя модифікація виконання допускає будь-які варіанти комутації і випускається зазвичай у вигляді SMD компонента.

Як приклад, наведемо схему підключення RGB SMD5050 діода до універсального блоку автоматки Arduino, створеному на базі мікроконтролера ATMEGA. На рисунку 5, 6 показана схема підключення RGB LED із загальним катодом та анодом відповідно.

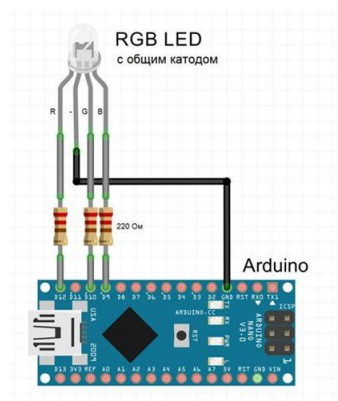


Рисунок 2.3. Схема підключення RGB LED із загальним катодом

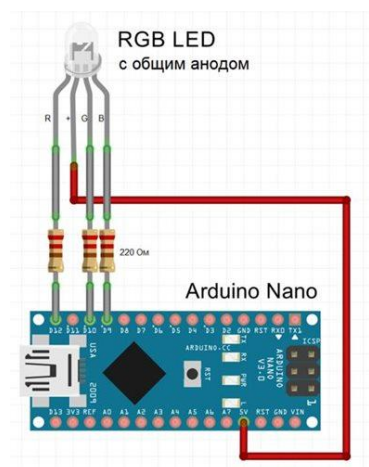


Рисунок 2.4. Схема підключення RGB LED із загальним анодом

Виводи RGB в обох випадках підключаються до цифрових виходів (9, 10, 12). Загальний катод на Рисунку 5 з'єднаний з мінусом (GND), загальний анод на Рисунку 6 – з плюсом живлення (5V).

Включення світлодіода відбувається при проходженні прямого струму, коли анод підключений до плюса, катод до мінуса. Багатобарвний спектр випромінювання можна отримати, змінюючи інтенсивність світіння каналів (RGB). Результируючий відтінок визначається співвідношенням яркостей окремих кольорів. Якщо всі 3 кольори однакові за інтенсивністю світіння, результируючий колір виходить білим. Для тестового каналу використаємо LED світлодіод білого кольору випромінювання.

На цифрових виходах плати Arduino формуються періодичні прямокутні імпульси напруги, як на рисунку 7, із змінною шпаруватістю.

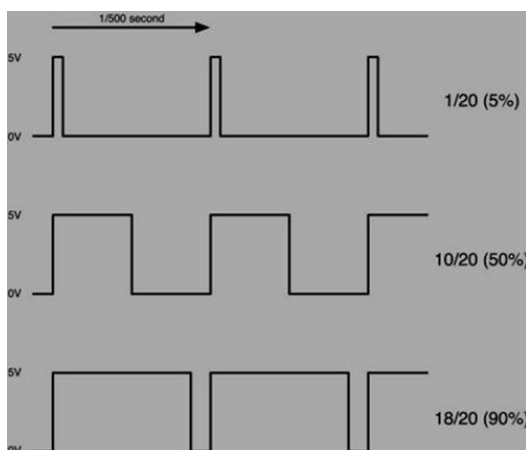


Рисунок 2.5. Періодичні прямокутні імпульси напруги із змінною шпаруватістю

Чим нижче шпаруватість імпульсів каналу, тим яскравіше світіння відповідного LED діода. Програма управління скважністю імпульсів кольірних каналів зашита в мікросхемі контролера[20].

2.1.2. Підбір двигуна

Сучасне високотехнологічне обладнання передбачає використання елементів конструкції, що дозволяють здійснювати постійні динамічні рухи з постійним контролем кута повороту вала, а також надавати можливість керування швидкостями в електромеханічних приладах. Вирішити весь

комплекс подібного роду завдань можна за допомогою серводвигунів. Вони являють собою електротехнічну систему приводу, що дозволяє ефективно здійснювати управління швидкостями в необхідному діапазоні. Застосування такого роду пристроїв дає можливість реалізувати періодичну повторюваність процесів з високою частотою. Серводвигуни є інноваційним варіантом електроприводу, тому вони отримали широке поширення в машинобудуванні та інших галузях промисловості. Подібні пристрої поєднують в собі високу ефективність в роботі і низький рівень шуму.

Головна конструктивна відмінність сервоприводу від звичайних двигунів постійного і змінного струму, які комплектуються щітками або без, є можливість управління ним шляхом зміни швидкості обертання ротора, моменту і положення.

Основною відмінністю двигунів «серво» від виробів крокового типу є наявність зворотного зв'язку.

Включатися і вимикатися двигун може за допомогою системи механічного (резистори, потенціометри і т. д.) або електронного (мікропроцесор) типу. В її основі лежить принцип порівняння даних датчика зворотного зв'язку і заданого значення поданої через реле на пристрій напруги. У більш високотехнологічних схемах також враховується інерція ротора, внаслідок чого забезпечується його плавність розгону і гальмування[21].

Переваги та недоліки серводвигунів

Серводвигуни володіють безшумністю і плавністю роботи. Це надійні і безвідмовні вироби, завдяки чому їх широко використовують при створенні відповідальних виконавчих пристроїв. Висока швидкість і точність переміщення можуть забезпечуватися також і на невисоких швидкостях. Такий двигун може бути підібраний користувачем в залежності від майбутніх завдань. До недоліків слід віднести високу вартість модуля, а також складність його налаштування. Виробництво серводвигунів вимагає наявності високотехнологічного промислового обладнання.

Таким чином, споживачі можуть придбати серводвигуни, які найбільше відповідають умовам майбутньої експлуатації, створивши виконавчий пристрій, що відрізняється високою надійністю і функціональністю[22].

Розглянувши всі переваги серводвигунів я вирішив використовувати серводвигун марки SG, так як вони задовольняють всі необхідні характеристики.

Серводвигун SG90

Серводвигун SG90 поставляється з проводом довжиною 23 см і 3-ма S-контактами типу «мама». Вихідний вал сервоприводу повертається на 180 градусів. Для управління серводвигуном SG90 можна використовувати будь-які контролери з живленням 5 В, в тому числі і Arduino.

Загальний вигляд серводвигуна SG90 та його габаритні розміри показані на рисунку 2.6.

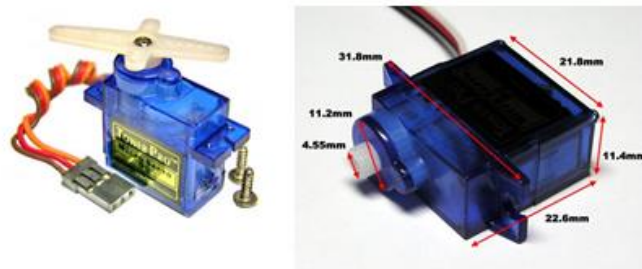


Рисунок 2.6. Серводвигун SG90

Технічні характеристики серводвигуна MG995:

- Маса: 9 грам;
- Розміри: 22,6x21,8x11,4;
- Крутний момент: 2 кг/1см при 4.8 В живлення
- Швидкість: 0.12 с/60° при 4.8 В
- Робоча напруга живлення: 3,5 – 5 В;
- Діапазон робочих температур: -30°C – +60°C.

Підключення до плати Arduino

Провід чорного або коричневого кольору – GND. Провід червоного кольору – +5V. Провід жовтого кольору – один із цифрових портів[23].

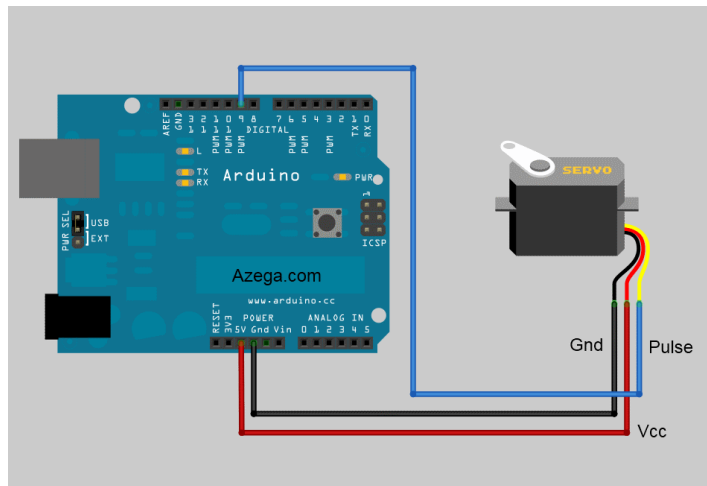


Рисунок 2.7. Підключення SG90 до плати Arduino

2.1.3. Підбір мікросхеми

Плата Arduino – невелика за розмірами, в якій є процесор і пам'ять. Плата містить близько десяти контактів, через які можна підключати різні компоненти: світлодіоди, датчики, мотори, та ін.

Процесор Arduino можна запрограмувати так, щоб він керував підключеними до нього компонентами згідно алгоритму. Для того, щоб зрозуміти ідею, нижче наведена ілюстрація. Вона відображає досить малу частку всіх можливостей, але все-таки дає якесь початкове уявлення.

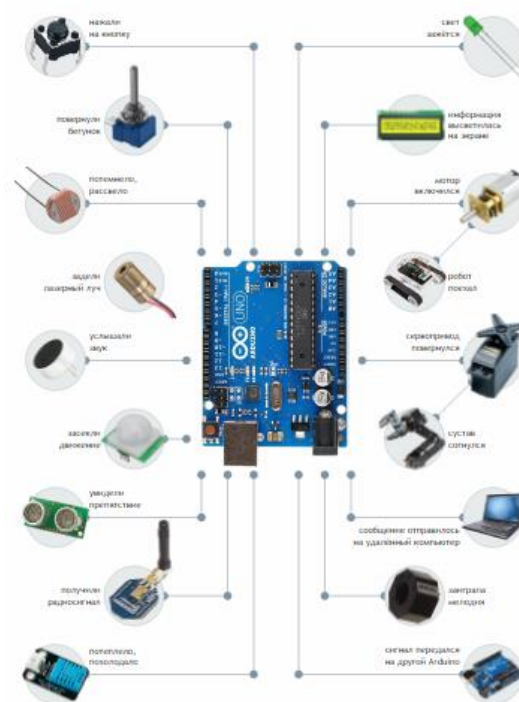


Рисунок 2.8. Ілюстрація можливостей плати Arduino

Свою популярність Arduino придбала завдяки простоті. Будь-хто в програмуванні та схемотехніці може освоїти основи роботи з Arduino.

Код програми пишеться на мові програмування C++, який дещо доповнений деякими функціями для керування введенням/виводом на контактах.

Однією з серйозних особливостей плат Arduino є наявність плат розширення, за допомогою яких можна відкрити нові можливості. Наприклад, підключити до інтернету, для керування двигунами, для отримання точних координат та часу з супутників через модуль GPS та ще багато інших.

Існує три модифікації плат Arduino: Arduino Uno – це найпопулярніша модель зараз, Arduino Nano – для компактності, практично нічим не програє від попереднього типу плати та Arduino Mega – для більш серйозніших проектів, де потрібно більше підключень. Розглянемо детальніше кожен з них[24].

Плата Arduino Uno R3

Плата Arduino Uno - центр великої імперії Arduino, найпопулярніша і найдоступніша плата Arduino. В її основі лежить чіп ATmega – в останній версії Arduino Uno R3 – це ATmega328 (хоча на ринку можна ще зустріти варіанти плати UNO з ATmega168). Arduino Uno є найкращим варіантом для початку роботи з платформою: вона має зручний розмір (не дуже великий, як у Mega і не такий маленький, як у Nano), досить доступна через масового випуску всіляких клонів, під неї написано безліч безкоштовних уроків і скетчів. Розглянемо основні особливості, характеристики і схему плати Arduino Uno R3, вимоги до живлення та можливості підключення зовнішніх пристроїв.

Характеристики Arduino Uno:

- Мікроконтролер: ATmega32
- Робоча напруга: 5
- Напруга живлення: 7-12
- Цифрові входи/виходи: 14 (із них 6 можуть використовуватись в якості ШИМ-виходів)
- Аналогові входи: 6

- Максимальний струм одного виводу: 40 мА
- Максимальний струм на виході при 3.3В: 50 мА
- Flash-пам'ять: 32 КБ (ATmega328) із яких 0.5 КБ використовуються загрузчиком
- SRAM: 2 Кб (ATmega328)
- EEPROM: 1 Кб (ATmega328)
- Частота: 16 МГц



Рисунок 2.9. Зовнішній вигляд плати Arduino UNO

Arduino – це відкрита платформа. Будь-хто може скачати схему з офіційного сайту або одного з популярних форумів, а потім зібрати плату на основі контролера ATmega. Необхідні електронні компоненти можна досить недорого купити в безлічі інтернет-магазинів.

Підключення будь-яких пристроїв до плати здійснюється шляхом приєднання до контактів, розташованих на платі контролера: одному з цифрових або аналогових пінів або пінах живлення. Простий світлодіод можна приєднати, використовуючи два контакти: землю (GND) і сигнальний (або контакт живлення).

Найпростіший датчик потребує задіяти мінімум три контакту: два для живлення, один для сигналу.

Робоча напруга плати Arduino UNO - 5 В. На платі встановлений стабілізатор напруги, тому на вхід можна подавати живлення з різних джерел. Крім цього, плату можна живити з USB - пристроїв. Джерело живлення вибирається автоматично.

Живлення від зовнішнього адаптера, рекомендований напруга від 7 до 12 В. Максимальна напруга 20 В, але значення вище 12 В з високою часткою ймовірності швидко виведе плату з ладу. Напруга менше 7 В може призвести до нестабільної роботи, тому що на вхідному каскаді може запросто губитися 1-2 В. Для підключення живлення може використовуватися вбудований роз'єм DC 2.1 мм або безпосередньо вхід VIN для підключення джерела за допомогою дротів.

Живлення від USB-порту комп'ютера.

Подача 5 В безпосередньо на пін 5V. В цьому випадку обходиться стороною вхідний стабілізатор і навіть найменше перевищення напруги може привести до проблем із виробом.

Піни живлення

- 5V - на цей пін Arduino подає 5 В, його можна використовувати для живлення зовнішніх пристроїв.
- 3.3V - на цей пін від внутрішнього стабілізатора подається напруга 3.3 В
- GND - висновок землі.
- VIN - пін для подачі зовнішньої напруги.
- IREF - пін для інформування зовнішніх пристроїв про робочій напрузі плати.

Плата Uno за замовчуванням підтримує три типи пам'яті:

- Flash - пам'ять об'ємом 32 кБ. Це основне сховище для команд. Коли ви прошиває контролер своїм скетчем, він записується саме сюди. 2кб з даного пулу пам'яті відводиться на bootloader- програму, яка займається ініціалізацією системи, завантаження через USB і запуску скетчу.
- Оперативна SRAM пам'ять об'ємом 2 кБ. Тут по-замовчуванню зберігаються змінні і об'єкти, створювані в ході роботи програми. Пам'ять ця енергозалежна, при виключенні живлення всі дані, зрозуміло, зітруться.

- Незалежна пам'ять (EEPROM) обсягом 1кб. Тут можна зберігати дані, що не зітруться при виключенні контролера. Але процедура запису і зчитування EEPROM вимагає використання додаткової бібліотеки, яка доступна в Arduino IDE за замовчуванням. Також ніжно пам'ятати про обмеження циклів перезапису, властивих технології EEPROM.

Деякі модифікації стандартної плати Uno можуть підтримувати пам'ять з великими значеннями, ніж в стандартному варіанті. Але слід розуміти, що для роботи з ними будуть потрібні і додаткові бібліотеки[25].

Програмування для плати Uno

Для написання програм (скетчів) для контролер Arduino вам потрібно встановити середу програмування. Найпростішим варіантом буде установка безкоштовної Arduino IDE, скачати її можна з офіційного сайту.

Після установки IDE вам потрібно переконатися, що обрана потрібна плата. Для цього у Arduino IDE в меню «Інструменти» і підпункті «Плата» слід вибрати нашу плату (Arduino / Genuino Uno). Після вибору плати автоматично зміняться параметри збірки проекту і підсумковий скетч буде скомпільовано в формат, який підтримує плата. Підключивши контролер до комп'ютера через USB, ви зможете в один дотик заливати на нього вашу програму, використовуючи команду «Завантажити».

Сам скетч найчастіше представляє собою нескінченний цикл, в якому регулярно опитуються піни з приєднаними датчиками і за допомогою спеціальних команд формується керуючий вплив на зовнішні пристрої (вони включаються або вимикаються). У програміста Arduino є можливість підключити готові бібліотеки, як вбудовані в IDE, так і доступні на численних сайтах і форумах.

Написана і скомпільована програма завантажується через USB-з'єднання (UART-Serial). З боку контролера за цей процес відповідає bootloader[26].

2.1.4. Карта пам'яті microSD та адаптер

SD і microSD карти можуть істотно розширити можливості проектів Arduino, що працюють з великими обсягами даних: реєстраторів даних, метеостанцій, систем розумного будинку. Плати arduino оснащені порівняно невеликою внутрішньою пам'яттю, всього до 4 кілобайт, включаючи і флеш-пам'ять, і EEPROM. Цією пам'яттю не вистачить для запису великих обсягів даних, тим більше, якщо плата буде постійно вимикатися або вимикатися. Підключення SD карти Arduino в якості зовнішнього накопичувача дозволяє багаторазово збільшити місце для зберігання будь-якої інформації. Знімні накопичувачі SD коштують дешево, легко підключаються і зручні у використанні.

Робота з пам'яттю SD в Arduino не представляє особливих труднощів. Найпростішим способом є підключення готового модуля і використання стандартної бібліотеки.

Використання готового модуля надає різні переваги. Це досить простий і зручний засіб для роботи з великим обсягом даних. Він не вимагає особливих навичок в підключенні, всі роз'єми підписані прямо на платі. За зручність доводиться платити, але вартість модуля невелика, його легко можна знайти за доступними цінами в інтернет-магазинах.



Рисунок 2.10. Зовнішній вигляд модуля для MicroSD

Універсальний модуль являє собою звичайну плату, на якій можна побачити слот для карти, резистори і регулятор напруги. Він має наступні технічними характеристики:

- Діапазон робочих напруг: 4,5-5 В;
- Підтримка SD карти: до 2 Гб;
- Струм: 80 мА;
- Файлова система: FAT 16.

Модуль SD-карти реалізує такі функції як зберігання, читання і запис інформації на карту, яка потрібна для нормального функціонування приладу на базі мікроконтролера.

Звичайно, у недорогих модулів карт пам'яті є і недоліки. Наприклад, найдешевші і поширені моделі підтримують тільки карти до 4 Гб і майже всі модулі дозволяють зберігати на SD карті файли об'ємом до двох гігабайт - це обмеження використовуваної в більшості моделей файлової системи FAT.

Ще одним недоліком карт пам'яті є відносно довгий час запису, проте існують шляхи роботи з нею, що дозволяють збільшити її швидкість роботи. Для цього використовується механізм кешування, коли дані спочатку накопичуються в оперативній пам'яті, а потім скидаються за раз на карту пам'яті[27].

Підключення SD і microSD до Arduino

Існує два види карт - microSD і SD. Вони однакові по підключенню, структурі і програмі, розрізняються ж тільки розміром. Перед роботою бажано провести повне форматування карти. Зазвичай нові карти вже відформатовані і готові до роботи, але якщо використовується стара карта, то краще провести форматування в файлової системі Arduino.

Для підключення карти використовується 6 контактів, взаємодія здійснюється через інтерфейс SPI. Вона виглядає на платі як роз'єм на лицьовій поверхні з шістьма штирями. Щоб підключити карту, потрібні сам контролер, модуль карти і 6 проводів. Крім SPI існує режим SDIO, але він складний в реалізації і слабо сумісний з Arduino. SPI легко налагоджується для роботи з усіма мікроконтролерами, тому радиться використовувати саме його.

Підключення цифрових висновків проводиться так: для плати Arduino Nano або Uno контакт MOSI підключається до D11, MISO до D12, SCK до D13,

CS до 4, VCC на +5 V, .GND до GND. На платі є роз'єми для підключення до 3,3 і 5 вольт. Харчування самої карти становить 3,3 вольт, тому простіше застосовувати мікроконтролер з таким же харчуванням, в іншому випадку потрібен перетворювач рівнів напруги. На найпоширеніших платах Arduino такий вихід є.

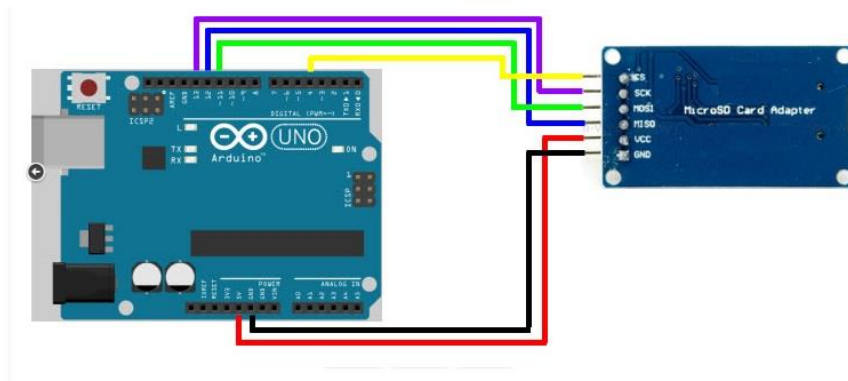


Рисунок 2.11. Схема підключення адаптера до Arduino

При підключенні SD карти потрібно враховувати відповідність SPI контактів для різних тип плат Arduino.

Як ми з вами переконалися, підключити SD карту пам'яті до Arduino і використовувати її в проекті не дуже складно. Для цього є готові бібліотеки в Arduino IDE і найрізноманітніші варіанти модулів. З використанням карт пам'яті можна збирати і зберігати для подальшого аналізу великі обсяги даних[28].

2.1.5. Підбір кнопок керування

Кнопка (або кнопковий перемикач) – найпростіший і найдоступніший з усіх видів датчиків. Натиснувши на неї, ви подаєте контролера сигнал, який потім призводить до якихось дій: включаються світлодіоди, видаються звуки, запускаються двигуни. У своєму житті ми часто зустрічаємося з різними вимикачами і добре знайомі з цим пристроєм.

Кнопка по суті досить простий пристрій, що замикає й розмикає електричну мережу. Виконувати це замикання/розмикання можна в різних

режимах, при цьому фіксувати або не фіксувати своє становище. Відповідно, всі кнопки можна поділити на дві великі групи:

- Кнопки перемикачі з фіксацією. Вони повертаються в початковий стан після того, як їх відпустили. При залежно від початкового стану поділяють на нормально-замкнуті і нормально-розімкнуті кнопки.
- Кнопки без фіксації (тактові кнопки). Вони фіксуються і залишаються в тому положенні, в якому їх залишили.

Варіантів різних кнопок безліч, це дійсно один з найпоширеніших видів електронних компонентів. Обираємо кнопку SMD 4 в металевому корпусі.

Для зручності роботи в комплекті з тактовою кнопкою зазвичай йде пластмасовий ковпачок якогось кольору, він надівається на кнопку і надає проекту більш-менш якийсь зовнішній вигляд.



Рисунок 2.12. Зовнішній вигляд кнопки SMD 4

Підключення кнопки Arduino

Підключимо кнопку до Arduino так, щоб можна було зчитувати в скетчі її стан. Для цього скористаємося наступною схемою[29].

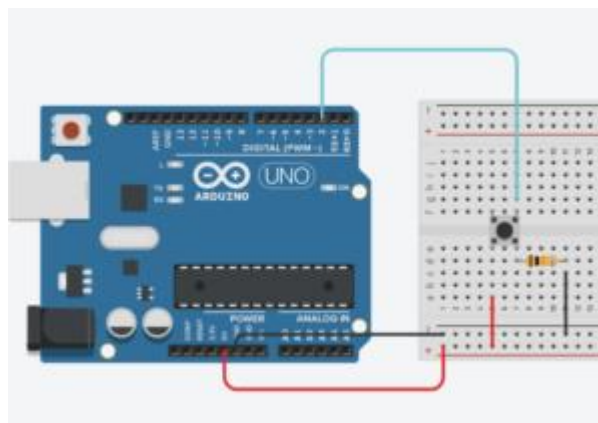


Рисунок 2.13. Схема підключення кнопки до плати Arduino

2.1.6. LCD дисплей

Дисплей вміщує 20 символів в 4 рядки. Побудований на базі чіпа сумісного з HD44780, що дозволяє працювати з ним через стандартну бібліотеку LiquidCrystal. Кирилиця не підтримується, однак це не є суттєвим показником для даної системи.

Підключення нескладне, як і в більшості лінійки подібних дисплеїв на цьому контролері. Використовувати дисплей можна як в восьми так і в чотирьох бітному режимі. На рисунку 2.14 показано, як дисплей підключається до нами використовуваної плати Arduino UNO[30].

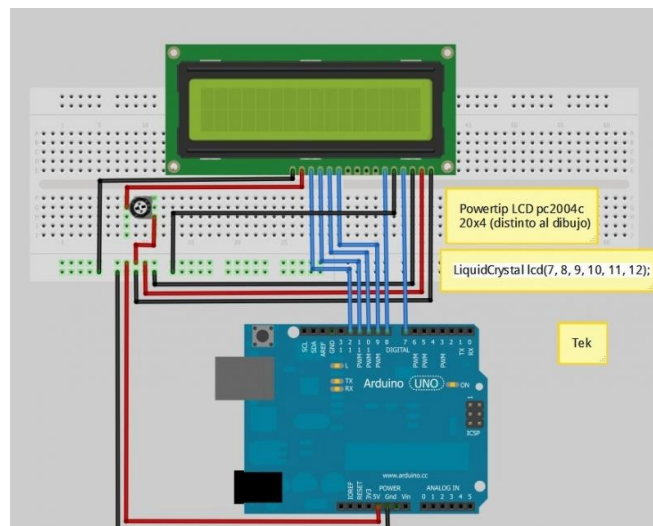


Рисунок 2.14. Схема підключення LCD дисплея до плати Arduino

2.2. Висновки до розділу

Даний розділ містить функціональну схему системи, описано принцип роботи системи у зв'язці з підібраними електронними компонентами. Виконано відбір елементної бази, яка необхідна для роботи системи з описом кожної з них та технічними характеристиками. Кожен компонент підібраний таким чином, щоб відлагоджено працював з іншими елементами та відповідав необхідним потребам.

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Система для контролю якості колірного зору направлена на спрощення процесу вимірювання та контролю, підвищення точності та вірогідності контролю якості колірного зору, можливості виявлення незначних відхилень колірного зору і менші часові затрати на проведення діагностики.

Досягається це тим, що в системі наявний оптичний канал з блоком формування еталонного кольору, оптичний канал з блоком формування тестового кольору і блок поєднання кольорів в полі зору досліджуваного. Блок формування тестового кольору виконаний у вигляді оптичної системи з двома поляризаторами, між якими встановлено декілька фазових пластинок, одна з яких виконана з неоднорідно розподіленим по площі фазовим зсувом. Блок поєднання кольорів виконаний з можливістю переміщення кольорів один відносно одного в полі зору досліджуваного і містить механізм зчитування координат їхнього положення. З метою спрощення процесу виготовлення системи, підвищення якості тестового кольору і, відповідно, підвищення точності контролю якості колірного зору та його достовірності, в блоці формування тестового кольору розташований один або декілька додаткових поляризаторів.

3.1. Принцип роботи системи

Оптична система для діагностики колірного зору складається з двох оптичних каналів: еталонного і тестового.

Еталонний оптичний канал функціонує наступним чином: за допомогою RGB світлодіода 12, що керується через плату Arduino, випромінюється розсіювальне світло певного кольору. Кольори, які підбираються для випромінювання в еталонному каналі узгоджуються з кольорами світлофільтрів з тестового каналу. Випромінене світло від RGB світлодіода проходить через двоопуклу лінзу 13, для того, щоб на виході був паралельний пучок випроміненого світла. Після проходження через лінзу, промені світла

потрапляють на призму 14, одна з граней якої представляє дзеркальну поверхню, відбиваються і попадають через окуляр в око досліджуваного.

Тестовий канал складається з наступних елементів: світлодіод білого кольору 1, двоопукла лінза 2, 5, 9, 10, барабан з світлофільтрами 3, діафрагма 4, дзеркало 6, призма 7, плоско-ввігнута лінза 8, окуляр 11. Світлодіод випромінює пучок розсіювального світла, який проходить через двоопуклу лінзу 2, функцією якої є фокусування цього променя на світлофільтрі, та через діафрагму потрапляє на двоопуклу лінзу 5, після якої даліше розповсюджується паралельний хід променів світлового пучка. Наступна позиція світлового пучка – дзеркало, від якого світловий пучок відбивається і потрапляє на призму, одна грань в якої являє собою дзеркальну поверхню. Від призми до окуляра промені проходять ще через лінзи 8, 9, 10, щоб на виході був паралельне випромінювання. Пара лінз 8, 9 складаються з двоопуклої та увігнутої, яка служить для того, щоб на плоску поверхню лінзи приклеїти призму, а двоопукла лінза 10 служить для того, щоб на виході був паралельний пучок світла.

У барабані 3 встановлено 16 світлофільтрів. За допомогою серводвигуна барабан прокручується на певний кут так, щоб в оптичному каналі з'явився наступний світлофільтр.

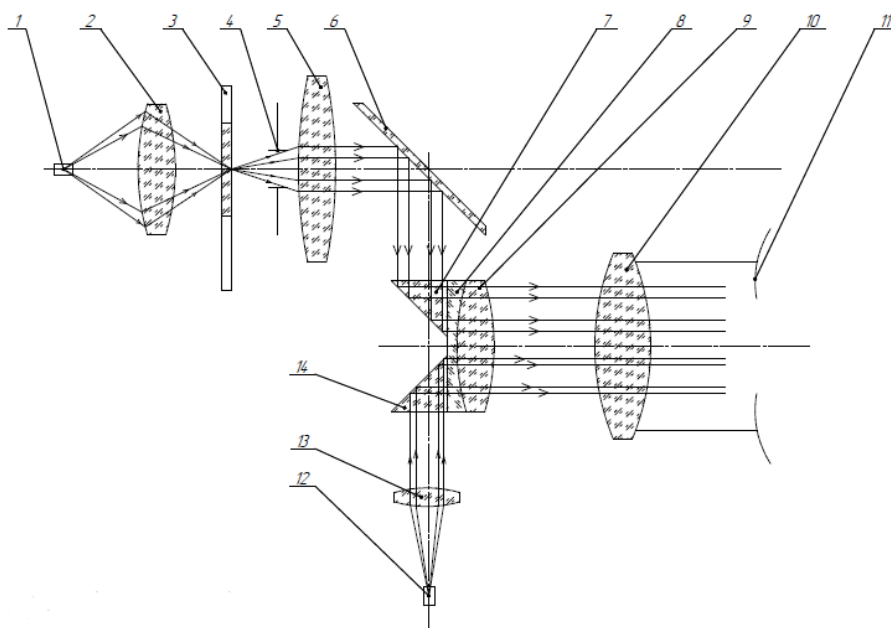


Рисунок 3.1. Схема системи

На рисунку 3.1 наведена схема системи для контролю якості колірного зору, де 1 – світлодіод, 2, 5, 9, 10 – двоопукла лінза, 3 – барабан з світлофільтрами, 4 – діафрагма, 6 – дзеркало, 7 – призма 8 – увігнута лінза, 11 – окуляр.

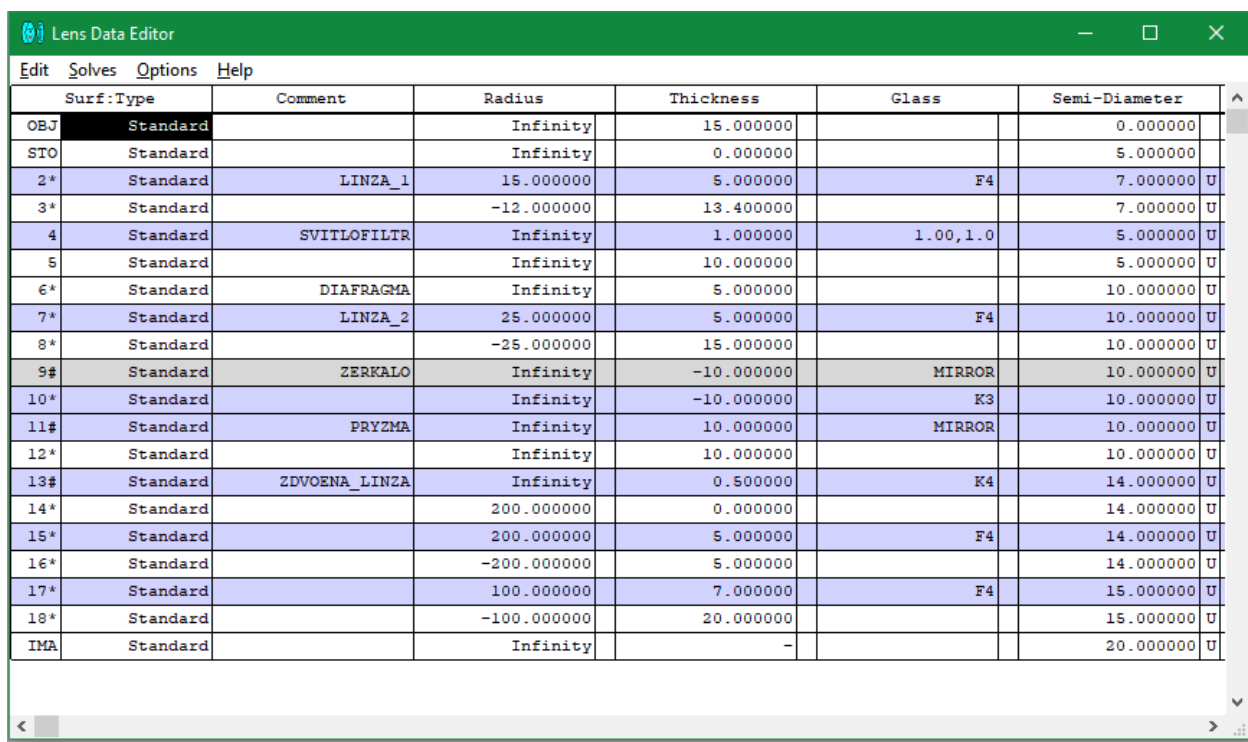
Підсумовуючи, можна сказати, що завдяки такому наборі лінз, світлофільтрів, та певному порядку їх розміщення а також можливістю переміщення світлофільтрів, з’являється можливість відобразити в полі зору досліджуваного тестовий колір у вигляді просторового поля. Іншими словами, даний колір складається з набору кольорів та відтінків, розподілених в полі зору досліджуваного, що дозволяє йому відразу бачити, де на його погляд кольори тестового і еталонного співпадають. Більше того, виконання цієї операції виконуються досліджуванним без додаткової інтенсивності, а на рівні підсвідомості. Це сприяє додатковій перевазі в тому, що не потрібно проводити роз’яснення в користуванні. Простота виконання діагностики збільшує кількість досліджуваних, а завдяки великому набору кольорів та відтінків досліджуваному не потрібно виконувати кореляцію, тримаючи в пам’яті еталонний результат. Реєструючи отримані координати і порівнюючи їх від

стандартних, можна виявити невеликі відхилення параметрів колірного зору від норми, що збільшує точність і достовірність контролю.

3.2. Синтез системи в програмному забезпеченні

Синтез системи виконаний за допомогою програмного забезпечення Zemax. Результати моделювання відображені в наступних рисунках. На рисунку 3.2 відображено параметри оптичної системи, характеристики лінз та інших компонентів, які беруть участь у формуванні світлового випромінювання з паралельним ходом на виході. Для моделювання використовувались двоопуклі лінзи та увігнута лінза, до якої приклеюється призма. Всі компоненти системи в кінцевому результаті дозволяють пацієнту побачити колір у вигляді півкола одночасно з двох оптичних каналів – еталонного і тестового.

3.2.1. Синтез тестового каналу



Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity	15.000000		0.000000
STO	Standard		Infinity	0.000000		5.000000
2*	Standard	LINZA_1	15.000000	5.000000	F4	7.000000 U
3*	Standard		-12.000000	13.400000		7.000000 U
4	Standard	SVITLOFILTR	Infinity	1.000000	1.00, 1.0	5.000000 U
5	Standard		Infinity	10.000000		5.000000 U
6*	Standard	DIAFRAGMA	Infinity	5.000000		10.000000 U
7*	Standard	LINZA_2	25.000000	5.000000	F4	10.000000 U
8*	Standard		-25.000000	15.000000		10.000000 U
9#	Standard	ZERKALO	Infinity	-10.000000	MIRROR	10.000000 U
10*	Standard		Infinity	-10.000000	K3	10.000000 U
11#	Standard	PRYZMA	Infinity	10.000000	MIRROR	10.000000 U
12*	Standard		Infinity	10.000000		10.000000 U
13#	Standard	ZDVOENA_LINZA	Infinity	0.500000	K4	14.000000 U
14*	Standard		200.000000	0.000000		14.000000 U
15*	Standard		200.000000	5.000000	F4	14.000000 U
16*	Standard		-200.000000	5.000000		14.000000 U
17*	Standard		100.000000	7.000000	F4	15.000000 U
18*	Standard		-100.000000	20.000000		15.000000 U
IMA	Standard		Infinity	-		20.000000 U

Рисунок 3.2. Параметри оптичної системи для тестового каналу

На рисунку 3.3 показано розподіл випроміненого світла в тестовому каналі. Тобто, на виході людина побачить половину круга, заповненого тестовим каналом, а іншу половину – еталонним. Це дозволяє в процесі

діагностики пацієнту порівнювати два кольори одночасно. Це допомагає в швидшому сприйнятті людиною кольорів і як наслідок пришвидшує сам процес діагностування. За рахунок того, що людина бачить одночасно колір, який змінюється через нею ж таки нажимання на відповідні кнопки та колір, який повинен бути в фінальному варіанті, пацієнт не відчуває дискомфорту від проведення контролю.

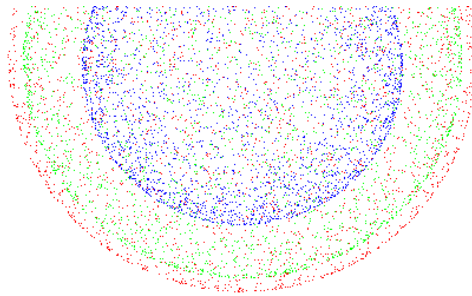


Рисунок 3.3. Діаграма розподілу випромінювання в тестовому оптичному каналі

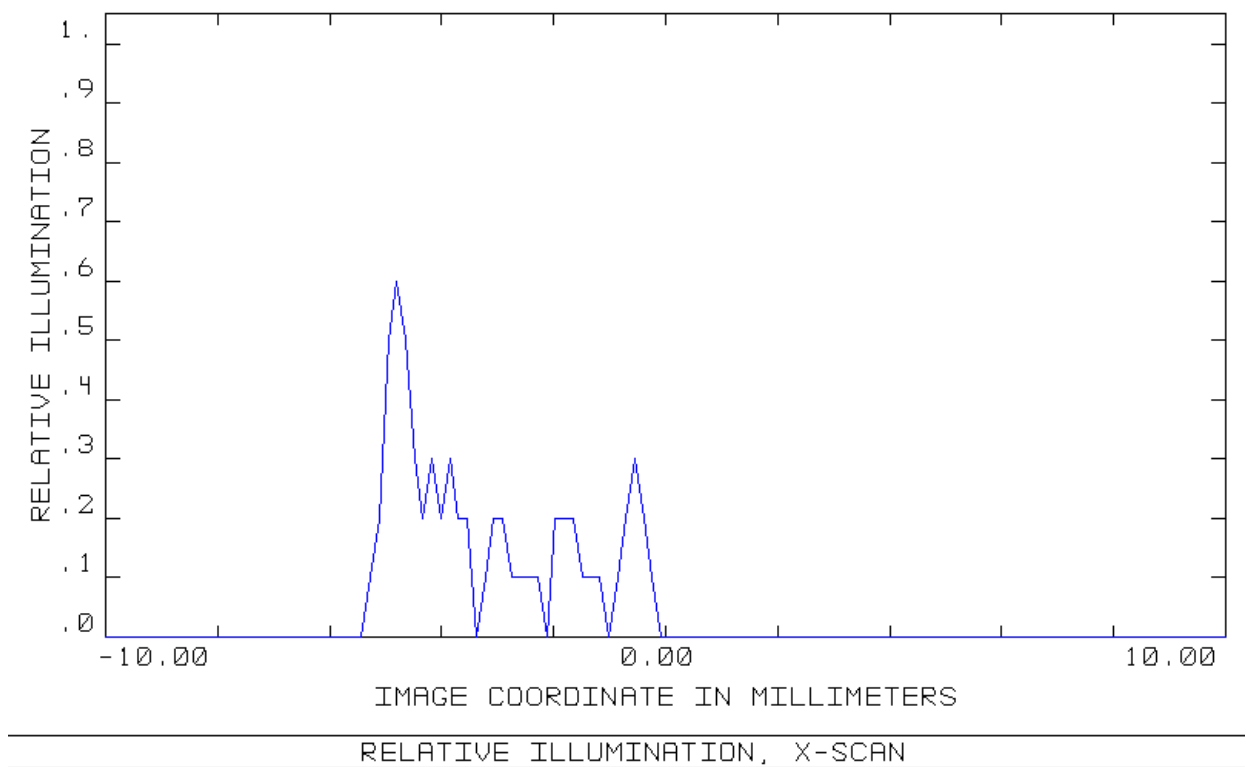


Рисунок 3.4. Діаграма розподілу освітленості в площині зображення для тестового каналу

З рисунків 3.3-3.4 видно, що випромінювання в тестовому каналі буде займати тільки половину площини зображення.

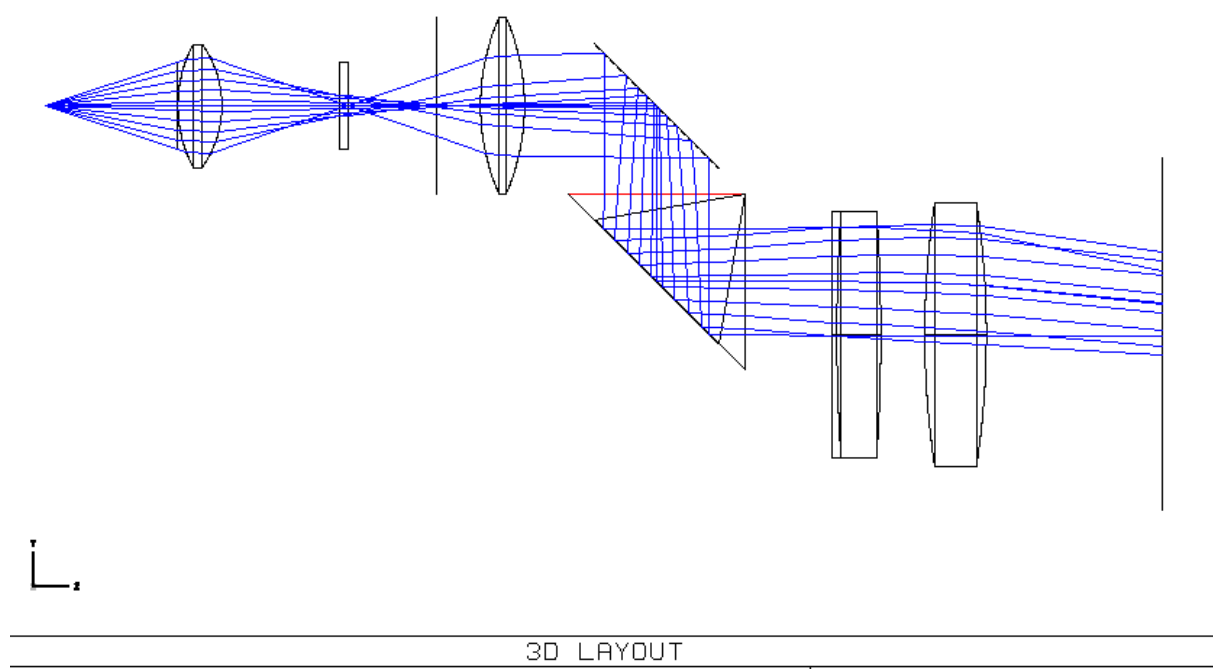


Рисунок 3.5. Синтез системи в 3D

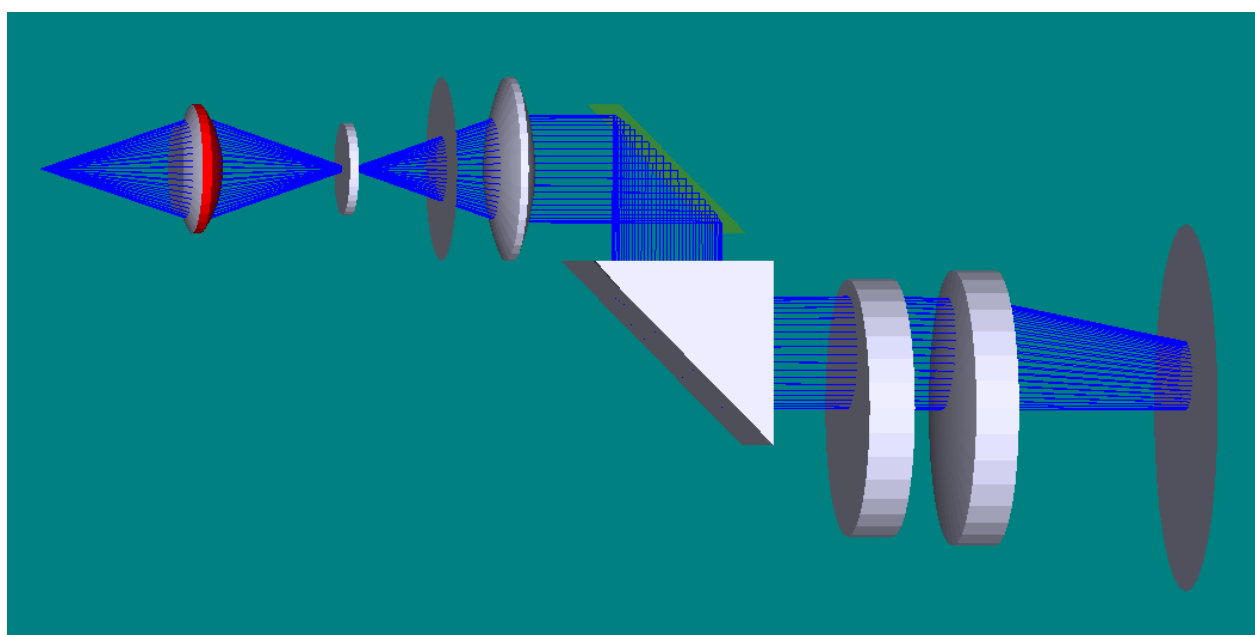


Рисунок 3.6. Модель системи для тестового каналу в Zemax

На рисунку 3.4 показано кінцевий варіант синтезу системи контролю параметрів колірному зору. Відповідно до вище описаного принципу роботи даної системи можна побачити наочно як, за допомогою програмних налаштувань і коригувань, світло від випромінювання проходить через кожен компонент системи і потрапляє в окуляр.

3.2.2. Синтез эталонного канала

Lens Data Editor						
Edit Solves Options Help						
Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity	20.000000		0.000000
STO*	Standard		24.000000	2.500000	LZ_K8	7.000000 U
2*	Standard		-23.000000	15.000000		7.000000 U
3*	Standard		Infinity	6.000000	K4	5.000000 U
4#	Standard		Infinity	-6.000000	MIRROR	5.000000 U
5*	Standard		Infinity	-20.000000		5.000000 U
IMA	Standard		Infinity	-		5.390501

Рисунок 3.7. Параметры оптической системы для эталонного канала

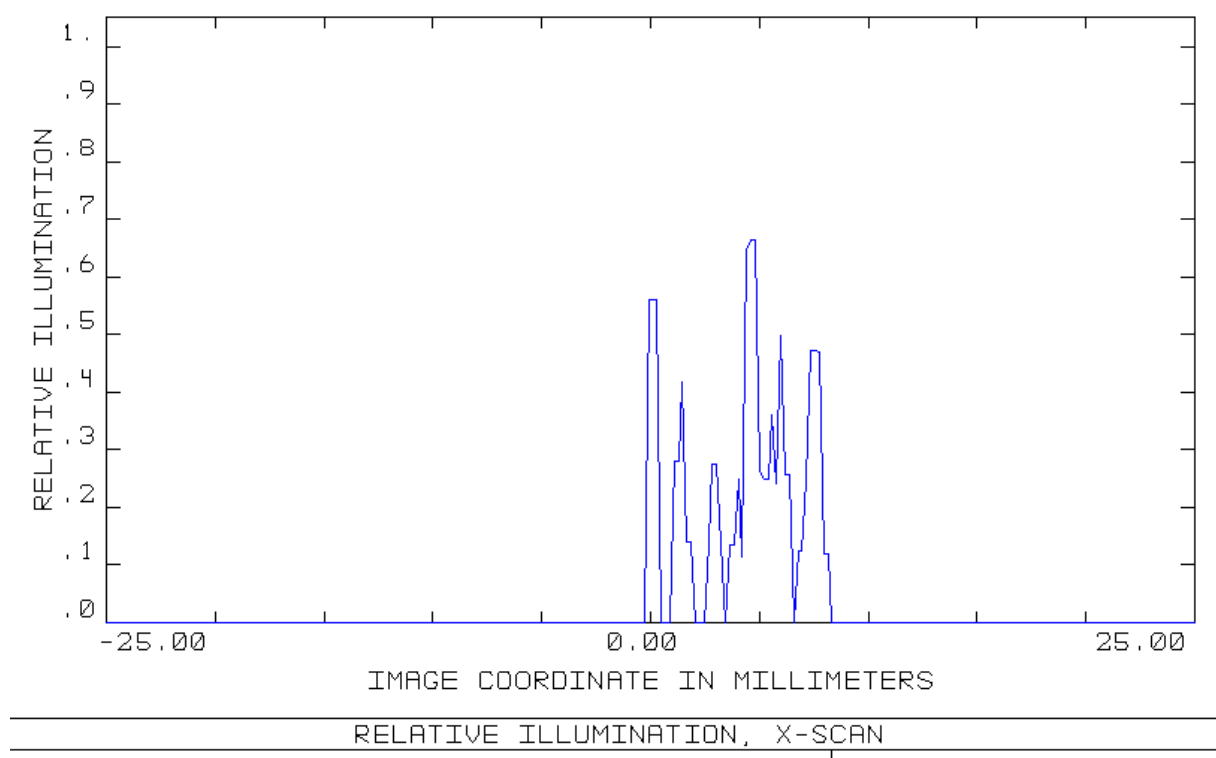


Рисунок 3.8. Діаграма розподілу освітленості в площині зображення

З рисунку 3.7 стає очевидним той факт, що випромінювання в еталонному каналі буде займати другу половину площини зображення.

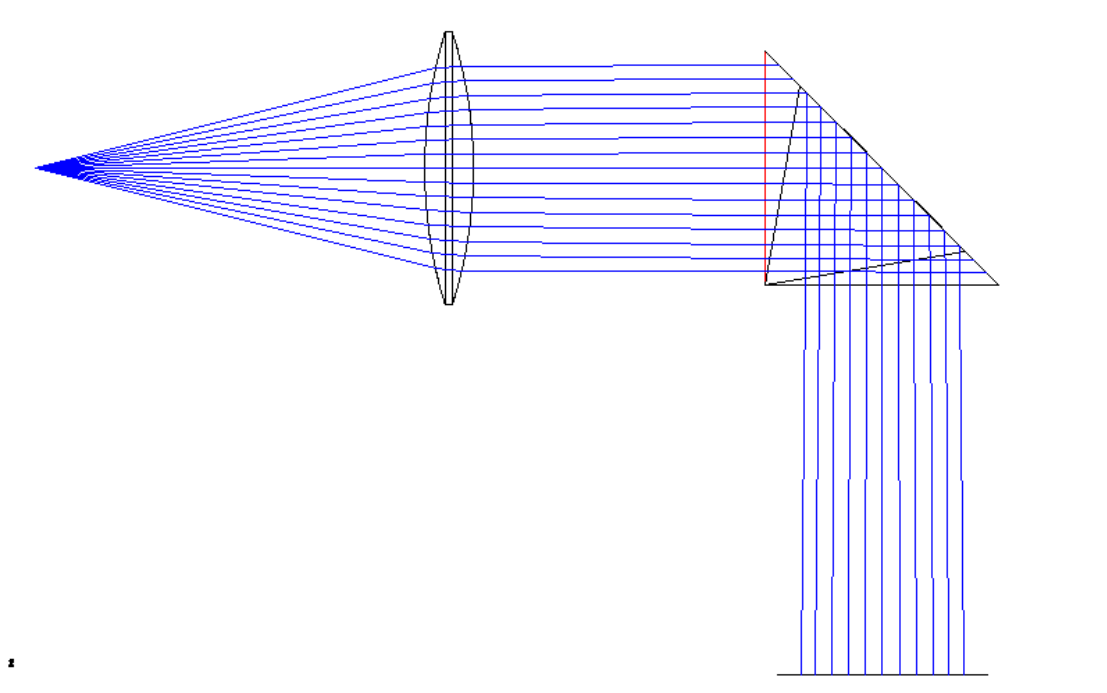


Рисунок 3.9. Модель еталонного каналу системи

Отже, з урахуванням вище описаних і представлених рисунків, можна зробити висновок, що випромінювання з двох оптичних каналів – тестового і еталонного, буде формуватися в двох частинах на площині зображення, через що людина буде достовірно бачити окремо два кольори.

3.2.3. Компоненти системи

Світлофільтр використовується для пропускання тільки кольору деякого діапазону. Тобто, при попаданні випромінювання на світлофільтр, через нього пройде випромінювання тільки певної довжини хвилі. Виготовляються зазвичай з матового скла або нейтрального. Як і будь-який компонент оптичної системи, світлофільтр поглинає частку світла, що зменшує інтенсивність на виході. Однак, значення дуже малі, близько 2-4%.

Основною характеристикою світлофільтра є його спектральна залежність оптичної щільності до довжини хвилі випромінювання. В основному їх виготовляють через комбінування декількох видів скла, для того, щоб отримати світлофільтри з потрібною спектральною залежністю. Вимоги до них визначаються за подальшим призначенням. В одних випадках потрібно виділяти окремі полоси пропускання, при цьому коефіцієнтом пропускання

можна знехтувати, в інших – навпаки. Крім цього, потрібно враховувати спектральний склад випромінювача та спектральну чутливість приймача, тобто ока. Розглянемо світлофільтр для пропускання полоси, що відповідає синьому та фіолетовому кольорам, який зображений на рисунках 3.10-3.11

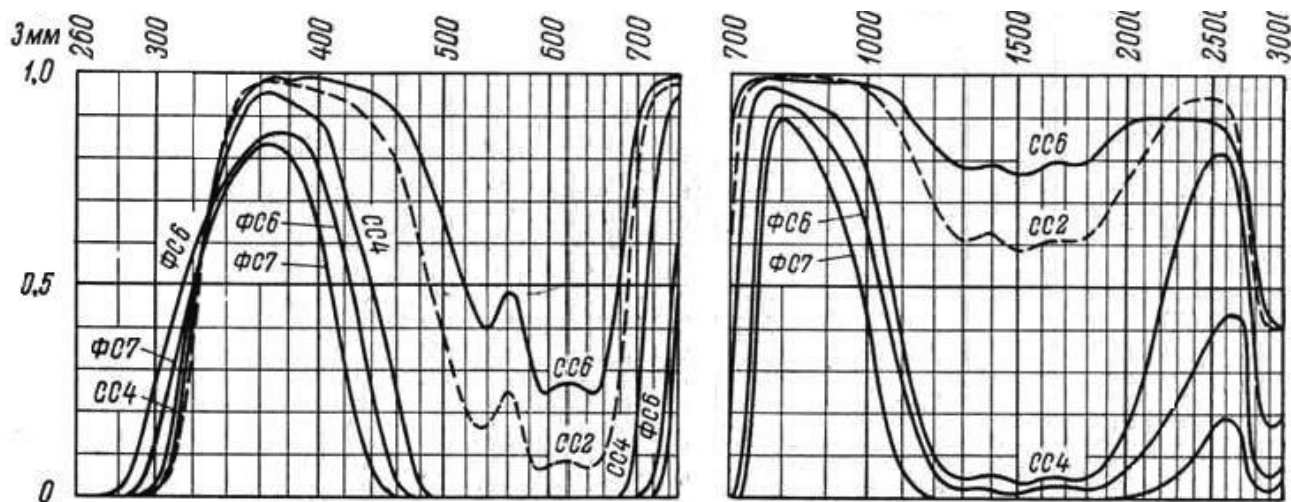


Рисунок 3.10. Спектральна характеристика синього світлофільтра

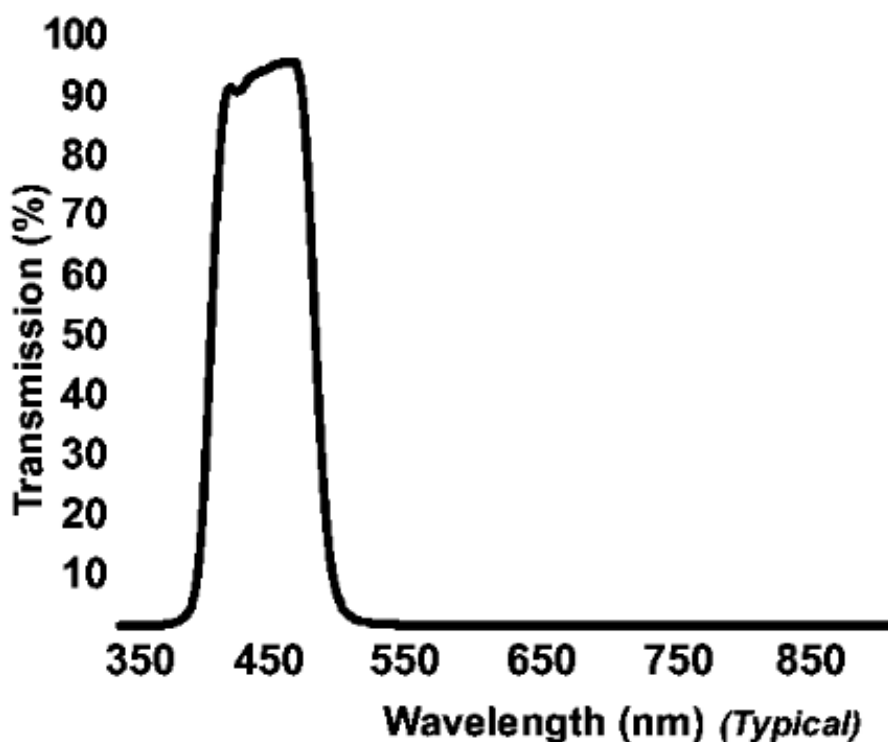


Рисунок 3.11. Відношення коефіцієнта пропускання до довжини хвилі

Як видно з рисунка 3.11 на певній довжині хвилі, коефіцієнт пропускання складає 96%.

Таблиця 3.1. Коефіцієнт пропускання випромінювання через світлофільтр.

№	Марка скла	Колір випромінювання	Діапазон пропускання, нм	Коефіцієнт пропускання
1	СС9	Синій	435-467	96-97 %
2	СС13	Фіолетовий	383-418	99 %
3	ЗС7	Зелений	525-550	95-96 %
4	ОС6	Оранжевий	580-610	96-98 %
5	СЗС17	Синьо-зелений	400-480	94-96 %
6	СЗС23	Синьо-зелений	420-470	99-100 %
7	ЖЗС10	Жовто-зелений	545-560	96-98 %
8	ЖСЗ	Жовтий	565-590	98-99 %

При правильному підборі матеріалу (скла) для виготовлення світлофільтра можна отримати достатньо високий коефіцієнт пропускання.

Лінза являє собою систему з двох заломлюючих поверхонь. В теорії, для побудови зображення немає необхідності докладного дослідження ходу променів. Від матеріалу виготовлення лінзи залежить показник заломлення та довжина хвилі пропускання. Вкрай важливим показником є однорідність, від якого залежить коефіцієнт пропускання випромінювання. Для збільшення цього коефіцієнту і, відповідно менших втрат початкового випромінювання, застосовується просвітлюючі покриття. Вони служать для зменшення коефіцієнта поглинання. Оптичне скло можна розділити на наступні типи: легкий крон, важкий крон, важкий фосфатний крон, крон, баритовий крон, надважкий крон, крон-флінт, легкий флінт, флінт, важкий флінт, надважкий флінт. Для компенсації хроматичних аберацій в оптичній системі доцільно використовувати компоненти, виготовлені з кронів та флінтів, які чергуються між собою. В даній системі в основному використовується лінзи і призми з флінта, тому що такий тип лінз має більшу дисперсію і найкраще підходить для роботи з видимим діапазоном випромінювання. Коефіцієнт пропускання такого типу оптичних елементів 0.986, який залежить від довжини хвилі пропускання,

але для видимого діапазону довжин хвиль цей коефіцієнт фактично не змінюється (або змінюється не суттєво)[31].

3.3. Висновки до розділу

Цей розділ присвячений розробці оптичної схеми та її моделюванні в програмному забезпеченні. Описано принцип роботи як системи, так і кожного оптичного каналу, з яких вона складається, а також переваги над існуючою системою. Також коротко описано елементи, використовувані при моделюванні в системі. Наведено рисунки та таблиці для спектральних характеристик світлофільтрів на різній довжині хвилі, відповідно до марки скла.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ОФТАЛЬМОЛОГІЧНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ КОЛІРНОГО ЗОРУ»

4.1. Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології)

Беручи до уваги інформацію з попередніх розділів про існуючі системи для перевірки якості колірного зору було виконано моделювання вдосконаленої системи з використанням програмного забезпечення Zemax. В даному розділі буде проведено аналіз стартап проекту, що має на меті визначення можливості виходу на ринок і можливості конкуренції з вже існуючими приладами.

Ідея проекту описана в попередніх розділах та деякі уточнення наведено в таблиці 4.1 Також в таблиці 4.1 коротко відображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка оптичної моделі для діагностики кольоросприйняття	Офтальмологічні центри	Підвищення якості діагностики Збільшення попиту на проведення діагностики Зменшення тривалості перевірки
	Обласні та районні лікарні	Низька ціна Простота в користуванні

Отже, пропонується нова система для перевірки якості сприйняття кольору, яка реалізована шляхом розробки та моделювання системи, що зменшує похибки та вірогідність проведеного контролю.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї

- визначаємо попереднє коло конкурентів або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;
- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 4.2).

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари / концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	МЧП «Медтехніка Сервіс»	«Ophthal»			
Торгівельна марка	немає	є	є	+		
Показники довговічності інструменту	Висока	Середня	Середня		+	
Показники надійності інструменту	Висока	Середня	Середня		+	
Патенти на продукти	немає	є	є			+
Економічність	Середня ціна	Висока ціна	Висока ціна		+	

Після порівняння характеристик проекту з конкурентами був визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик їхніх систем, що є підґрунтям для формування конкурентоспроможності розробленої системи.

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Заміна елементів випромінювання світла		Наявні	Доступні
2.	Збільшення кількості світлофільтрів		Наявні	Доступні
3.	Автоматизація в керуванні за допомогою кнопок		Наявні	Доступні
4.	Запис інформації в цифровому вигляді		Наявні	Доступні

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок що наша система може реалізуватися будь-якою технологією, але серед представлених найбільш серйозних змін в кращу сторону привносить саме автоматизація в керуванні, через що пацієнту не потрібно пояснювати правильність користування системою.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації. Це дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	1
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	15000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає

4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Конкуренція як вітчизняних, так і зарубіжних фірм
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	40%

За попереднім оцінюванням ринок має зростаючу динаміку і хороший попит на запропонований нами продукт, тому робим висновок, що ринок є привабливим для входження, хоча на ньому вже існують вітчизняні та зарубіжні фірми, які працюють багато років і роблять прилади хорошої якості, але за рахунок нової технології і переваг, які вона надає, продукт є конкурентоспроможним.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Точна і недорога система	Офтальмологічні центри та лікарні	Надійність, точність, довговічність, ціна	Правильність експлуатації

Отже потенційною групою клієнтів продукту мають стати державні та приватні лікарні або центри діагностики зору, які побачать економічну вигоду у системі, виконаною за новою методикою.

При застосуванні даної технології існують певні загрози. Для попередження таких ситуацій необхідно дотримуватись правил експлуатації, а також працювати з такими системами повинні висококваліфіковані фахівці. Також, повинно своєчасне технічне обслуговування даної системи (таблиця 4.6).

Таблиця 4.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Асортимент продукції зарубіжних компаній	Доведення на практиці, що технологія буде економічно вигіднішою, ніж у конкурентів

2.	Старіння	Поява новіших систем	Моніторинг трендів, постійна модернізація згідно з вимогами ринку
3.	Відсутність попиту	Не бажання переходити на нові технології	Приведення аргументованих доказів, що зміна технології приведе до збільшення попиту на продукт.
4.	Постачання	Домовленості з фірмами постачальниками	Зміна політики розповсюдження продукту
5.	Технічний	Відсутність кваліфікованих кадрів для роботи над системою	Спрощення алгоритмів методики або впровадження постійної підтримки кваліфікованих техніків

В таблиці 4.6 ми визначили фактори загроз які перешкоджають ринковому впровадженню нашого проекту, а також можливу реакцію на ці фактори, щоб звести до мінімуму його вплив.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 4.7).

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Науково-технічні	Зміниться технологія виготовлення	Впровадить технологію і змінить вартість
2.	Поява нової роздрібної мережі	Увійти до числа постачальників нової мережі	Зробити акцент на якості продукції
3.	Попит	Потреба збільшення надійності, точності та довговічності	Модернізація продукту, розробка нових ідей
4.	Політико правові	Може вплинути на купівлю/продаж товару.	Зміна напрямків імпорту
5.	Економічні	Політика протекціонізму; підтримка інноваційного виробництва.	Підвищення/пониження ціни на продукт; зменшення податкового тиску

В таблиці 4.7 визначили фактори можливостей, які сприяють ринковому впровадженню нашого проекту, та вигоди, які компанія може отримати відповідно від реакції на той чи інший фактор.

Таблиця 4.8 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Олігополія	В галузі домінує декілька конкуруючих фірм	Виготовлення вдосконаленого товару
Національний	Конкуренція фірм на міжнародному рівні	Приведення розрахунків про збільшення надійності і вірогідності діагностики
Внутрішньогалузева	Виробники виготовляють продукти, які задовольняють одну потребу	Створення системи відмінної в надійності, вірогідності, ціні.
Цінова	Використання ціни як засіб кращих умов збуту	Підвищення якості, за такою ж ціною, що і у конкурентів
Марочна	Вказує, яке підприємство відповідальне за готовий продукт	Створення власної марки

В даній таблиці ми проаналізували ринок збуту розробленої системи і визначили загальні риси конкуренції на ньому.

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Поки проект не впроваджено в життя, це важко зробити точно, можна дати лише попередню оцінку конкурентоспроможності.

Таблиця 4.9. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Надійність	Більша надійність продукту, ніж у конкурентів
2	Довговічність	Більша довговічність продукту, ніж у конкурентів
4	Якість	Вище перелічені фактори покращують якість діагностики, а це один із головних критеріїв пацієнтів
5.	Ціновий	Опрацювання відгуків клієнтів, вдосконалення відповідно до їх пропозицій.
6	Новизна	Нова технологія дозволяє продукту стати конкурентоспроможними на ринку

В таблиці 4.10 на основі аналізу проведеного в таблиці 4.9 визначили та обґрунтували фактори конкурентоспроможності нашого проекту.

Таблиця 4.10. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «DUST_METER»

№п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з новою системою						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Надійність	15						+	
2	Довговічність	16					+		
4	Якість	20						+	
5	Ціна	13				+			
6	Новизна	17					+		

З таблиць 4.10 та 4.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при впровадженні нових елементів. Основною перевагою та головним досягненням є висока якість системи та технічна підтримка на протязі всього терміну його використання.

Таблиця 4.11. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> краща надійність і довговічність; краща точність системи; ціна нижча, як і у конкурентів; 	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> продукт який ще не зарекомендував себе на ринку; за рахунок високої ціни клієнти обирають більш дешевий варіант, що призводить до втрати потенційного заробітку
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> потреба у збільшенні надійності і довговічності інструменту, тим самим витіснити застарілий продукт із ринку; отримання нових замовлень на продукт; забрати собі клієнтів у вже існуючих фірм за рахунок створення нової мережі постачання; 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> Цінова конкуренція в зв'язку з появою нових гравців на ринку. Різка зміна курсу гривні може привести до зменшення попиту, особливо з боку малих фірм. Політичні та економічні ризики ведення бізнесу; Зменшення продажів через несвоєчасне виконання замовлень.

В таблиці 4.12 проводимо перелік сильних та слабких сторін, а також ринкових загроз та ринкових можливостей, який складаємо на основі факторів загроз і можливостей, який ми складали раніше. Ринкові загрози та можливості на відміну від факторів ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 4.12. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	2 роки
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Середня	1 рік
3	Стратегія виходу з ринку	Низька	

З зазначених альтернатив обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.13. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Приватні лікарні	Готові	Середній	Висока	Середня
2	Державні лікарні	Готові	Високий	Низька	Просто
Які цільові групи обрано: Державні та приватні лікарні. Використовується стратегія диференційованого маркетингу.					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів обрані цільові групи, для яких будемо пропонувати свою систему для діагностики кольоросприйняття та визначили стратегію охоплення ринку: стратегію диференційованого маркетингу, тому що працюємо із конкретним сегментом, розробляючи для нього програму ринкового впливу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.14. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Підсилення сильних сторін стартапу за рахунок ринкових можливостей	Диференційований маркетинг	Краща надійність і довговічність Краща якість Ціна така, як і у конкурентів	Стратегія диференціації

За базову стратегію розвитку було взято стратегію диференціації, що передбачає надання товару важливих, з точки зору споживача, відмінних властивостей, які роблять систему, яка відрізняється від тієї, що є в конкурентів

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.15).

Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Ні	Компанія буде забирати існуючих у конкурентів	Не буде копіювати основні характеристики товару конкурента	Стратегія заняття конкурентної ніші

За базову стратегію конкурентної поведінки була прийнята стратегія зайняття конкурентної ніші, коли компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів малого розміру. Головне завдання компанії при цьому – це постійна підтримка та розвиток своєї конкурентної переваги.

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект

Таблиця 4.16. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Висока надійність і довговічність	Стратегія диференціації	Краща якість ніж у конкурентів за такою ж ціною	Надійність Стабільність Якість Ціна

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку

4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 4.17 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.17. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Автоматизація системи для пришвидшення діагностики	Точність проведення контролю, запис інформації в цифровому форматі	Постійна технічна підтримка та оновлення. Вдосконалення системи шляхом додавання нових можливостей.

За рахунок ключових переваг розробленої системи та стратегії диференціації, що передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей за такою ж ціною як і у конкурентів буде розроблено маркетингову програму стартап-проекту.

Таблиця 4.18. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Офтальмологічна система контролю параметрів колірного зору Можна виділити наступні вигоди використання: - автоматизація процесу діагностики; - підвищення якості та точності; - зменшення похибок. - підвищена надійність і довговічність системи		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Довговічність (немає строку давності)	Нм	Вр
	2. Економічні	Нм	Вр
	3. Надійність	М	Тл
	4. Безпеки	М	Тх
	5. Технологічні	М	Тх
	Якість: відповідає нормам ГОСТ 8.417-2002		
	Пакування: Картонна коробка із торгівельною маркою, назвою продукту і технічними характеристиками		
III. Товар із підкріпленням	Розповсюдження реклами		

В таблиці 4.18 ми створюємо трирівневу модель нашого проекту, що включає задум товару та його вигоди, основі характеристики та спосіб його пакування.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 4.19).

Таблиця 4.19. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	15000 грн	20000 грн	Середній	1000 – 2000 грн

В таблиці проаналізовано ринкові ціни на товари аналоги та замінники, а також середній рівень доходів споживачів. За отриманими даними буде встановлена верхня та нижня межа на нашу систему.

Таблиця 4.20. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Звична купівля з деяким змінами	Доставка товару покупцю, його встановлення та налаштування.	Канал нульового рівня	Власна система збуту. Виробник безпосередньо продає товар клієнту

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів було обрано власну систему збуту, коли виробник безпосередньо продає товар клієнту. Також за глибину каналу збуту було обрано канал нульового рівня, тому що компанія хоче мати тісні контакти із споживачами на обмеженому цільовому каналі.

Таблиця 4.21. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Перегляд інформаційних ресурсів із потрібним якісним товаром за доступною ціною.	Інтернет ресурси, каталоги інструментів, виставки, рекламні статті.	Послідовність у реалізації обраної позиції. Доступність та об'єктивність інформації про фірму та товар. Послідовність при прийнятті рішень.	Інформаційне завдання про новий товар, та формування знань про марку та виробника.	Надійність і довговічність

Висока надійність, довговічність та точність системи є головною концепцією, за рахунок якої він є конкурентоспроможним на ринку.

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів було обрано власну систему збуту, коли виробник безпосередньо продає товар клієнту. Ціноутворення відбувається на основі аналізу товарів – аналогів і відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту з залученням експертів.

4.6. Висновки до розділу

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту можна зробити висновок, що ринкова комерціалізація проекту опирається на наявний попит, динаміку ринку та рентабельність роботи на ринку. Клієнти зазвичай займаються звичною купівлею з деякими змінами, яка передбачає придбання дещо змінених товарів, або зміну ціни на товар, саме на це і розрахований даний стартап, так як за рахунок розробленої системи відбудеться покращення точності та вірогідності проведення діагностики сприйняття кольору оком людини, що являються кращими властивостями при контролі чи діагностуванні пацієнтів, в порівнянні із наявними системами у конкурентів.

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів і розробивши власну систему збуту, є достатньо хороші перспективи впровадження даного продукту на ринок. Бар'єром входження на ринок є достатня кількість вітчизняних та зарубіжних систем-аналогів, але в порівнянні із ними дана система з використанням новітньої електроніки та оптичних елементів підвищує точність проведення діагностики та збільшує вірогідність контролю параметрів колірного зору людини, внаслідок цього в системи більша надійність і довговічність, за рахунок чого вона може стати конкурентоспроможною на ринку.

За ринкову поведінку буде прийнята стратегія зайняття конкурентної ніші, коли компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів малого розміру. Головне завдання компанії при цьому – це постійна турбота про підтримку і розвиток своєї конкурентної переваги, формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.

Впровадження на ринок розроблено на основі стратегії зайняття конкурентної ніші, коли компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів малого розміру.

Керуючись вище описаними конкурентоспроможними властивостями, нова розроблена система для контролю параметрів колірного зору буде

користуватись попитом серед різних сегментів населення, а такий стартап-проект може зацікавити як державні обласні та районні лікарні, так і приватні лікарні чи офтальмологічні центри.

ВИСНОВКИ

В дисертації розроблено автоматизовану систему для контролю параметрів колірному зору людини, що має суттєві переваги перед існуючими аналогами: зменшення масогабаритних властивостей, спрощення схеми та автоматизацію процесу діагностики.

В роботі проаналізовано різноманітні дефекти та порушення, пов'язані з зором людини. Для дослідження обрано одне з головних порушень в роботі зорової системи ока – сприйняття кольору. Переглянуто аналогічні системи, за допомогою яких виконується діагностика кольоросприйняття.

На основі аналогічних систем, з використанням сучасного програмного забезпечення було виконано синтез діагностичної системи з автоматизацією дій при контролі. Була запропонована функціональна схема роботи системи та підбір елементів для правильного функціонування.

Описано також розділ стартап-проекту для розробленої системи, проведено аналіз виходу на ринок та можливість створювати конкуренцію іншим системам-аналогам, які присутні зараз на ринку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Діагностика зору: сучасні методи [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://centr-zory.com.ua/uk/blog/news/diagnostika-zoru-suchasni-metodi/>.
2. Визначення гостроти зору [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://seeactive.by/articles/table-sivtsev.html>.
3. Процес діагностики зору [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://glazgo.com.ua/uk/o-nas/>.
4. УЗД ока [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://medicine.co.ua/informazia-y-fakt/3825-uzd-oka.html>.
5. Дефекты зрения и способы их коррекции [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.ochki.net/opticaladviser/problemso_zreniem_i_variandy_resheniya/defekty_zreniya_i_sposoby_ih_korrekcii/
6. Порухення кольоросприйняття [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://centr-zory.com.ua/uk/blog/articles/porushennya-kolorospryjnyattya-scho-tse-i-yak-z-tsym-zhyty/>
7. Оптична система ока [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ecataract.org/vazhlyvo-znaty/oko-ta-iol>.
8. Особливості оптичної системи очей [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://wiki.pp.ua/6327-scho-yavlyaye-soboyu-optichna-sistema-oka-z-yakih-elementv-skladayetsya.html>
9. Перевірка колірного зору [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://magazinlinz.ru/kak-proverit-cvetovoe-zrenie-cheloveka.htm>.
10. Кольоросприйняття [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://glazamed.ru/baza-znaniy/oftalmologiya/glaznye-bolezni/4.3.-cvetooschuschenie/>.
11. Дослідження колірного зору [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://biomedicina.com.ua/zir-doslidzhennya-kolirnoho-zoru/>.

12. Аномалоскоп [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://medical-enc.com.ua/anomaloskop.htm>.
13. Аномалоскопы [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://glazamed.ru/baza-znaniy/oftalmologiya/issledovaniya/4.3.2-anomaloskopy/>
14. Діагностика кольоросприйняття [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.glazmed.ru/lib/diseases/diseases-0021.shtml>.
15. Пятакович Ф. А., Курлов Ю. А. МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ЦВЕТООЩУЩЕНИЯ И ЦВЕТОВОСПРИЯТИЯ // Успехи современного естествознания. – 2006. – № 10. – С. 55-58;
16. Дослідження кольоросприйняття [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.physiolognorma.ru/aviacionnaya-medicina/issledovanie-cvetooshhushheniya/>.
17. Аномалоскоп Нагеля [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.freepatent.ru/patents/2089090>.
18. Аномалоскопы [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://glazamed.ru/baza-znaniy/oftalmologiya/issledovaniya/4.3.2-anomaloskopy/>.
19. Види і типи світлодіодів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://hi-news.pp.ua/tehnka-tehnologyi/1066-vidi-tipi-svtlododv-klasifikacya-harakteristiki-priznachennya.html>.
20. Ардуино: трехцветный светодиод - RGB [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://robotclass.ru/tutorials/arduino-rgb-led/>.
21. Регульований привід у механізмах [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.svaltera.ua/solutions/typical/packing_equipment/6493.php.
22. Переваги та недоліки серводвигунів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.tehnodecor.com/preimuschestva-i-nedostatki-shagovih-i-servo-dvigatelj/>.

23. Серводвигун SG90 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/prod416-servoprivod-sg90-2kg>.
24. Що таке Arduino? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://amperka.ru/page/what-is-arduino>.
25. Плати Arduino UNO [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://arduinomaster.ru/platy-arduino/plata-arduino-uno/#i>.
26. Arduino – схема підключення [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://arduinoplus.ru/arduino-raspinovka/>.
27. Модуль SD карти і Arduino [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://arduino-diy.com/arduino-SD-karta>.
28. Підключення SD карти до Arduino [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/podklyuchenie-sd-karty-k-arduino/>.
29. Підключення кнопки до Arduino [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/knopka-arduino/>.
30. LCD дисплей [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://arduino.ua/prod319-LCD_20x4_s_podsvetkoi.
31. Флінти [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://mash-xxl.info/info/64544/>.